

UNIVERSITE PARIS V – RENE DESCARTES
INSTITUT DE PSYCHOLOGIE
Laboratoire « Psychologie de la Perception » - FRE 2929 – CNRS

N° attribué par la bibliothèque

|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|

Janvier 2008

THESE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITE PARIS V

Discipline : **Psychologie**

Présentée et soutenue publiquement par

Emmanuelle LACAZE

**Etude des capacités d'intégration sensorielle
Toucher-Vision chez des enfants présentant des
troubles des apprentissages**

Directeur de thèse : Professeur Arlette STRERI

JURY :

Catherine BILLARD, Neuropédiatre, Unité de rééducation neuropsychologique infantile,
C.H.U du kremlin-Bicêtre,

Sylvie CHOKRON, Directrice de Recherches, Université de Savoie (rapporteur),

Pascale COLE, Professeur des Universités, Université de Savoie (rapporteur),

Arlette STRERI, Professeur des Universités, Université ParisV- René Descartes

Remerciements

Mes remerciements les plus chaleureux et ma reconnaissance vont à Arlette Streri pour l'intérêt et l'attention qu'elle a portés à mon travail tout au long de sa réalisation, ainsi qu'à Catherine Billard sans qui ce travail n'aurait pu être conduit.

Je remercie les écoles pour leur accueil et les enfants qui ont participé aux études présentées dans cette thèse. L'école maternelle d'Alleray, Vaneau, l'école maternelle et élémentaire Sainte Geneviève du Marais et l'école élémentaire Rampal.

Je remercie Laure Bricout, neuropsychologue pour les passations des tâches de transfert intermodal dans les écoles.

Je remercie beaucoup mes collègues et notamment Monique Touzin, orthophoniste et Samantha Villani, psychologue pour leurs relectures et leurs conseils.

Mes remerciements vont également à George Dellatollas pour les analyses statistiques et leur lecture.

Je souhaite enfin à remercier mon conjoint, ma famille et mes amis pour m'avoir soutenue et aidé tout au long de la réalisation de ce travail.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE.....	7
UNE REVUE DE LA LITTERATURE	10
I. Description des troubles des apprentissages.....	11
1.1) La dyslexie	11
1.1.1) Symptomatologie	11
1.1.2) Modèles cognitifs	12
1.1.3) Les hypothèses explicatives de la dyslexie	14
A) L'hypothèse phonologique	14
B) L'hypothèse visuelle	18
C) L'hypothèse cérébelleuse	19
D) L'hypothèse du traitement temporel.....	20
E) L'hypothèse intermodale : couplage audition-vision.....	20
D. Données génétiques	23
1.1.4) Les rééducations	24
1.2) La dysphasie	26
1.2.1) Symptomatologie	26
A) La classification des dysphasies	27
B) Les troubles associés	28
1.2.2) Données de la neuro-imagerie et génétiques.....	29
A) Imagerie fonctionnelle cérébrale dans les troubles du langage.....	29
B) Données génétiques	31
1.2.3) Les rééducations	31
1.3) La dyspraxie.....	33
1.3.1) Symptomatologie	33
A) Les différentes appellations de la dyspraxie.....	34
B) Données neurophysiologiques.....	35
1.3.2) L'hypothèse d'un trouble d'intégration sensorielle	38
1.3.3) Quelques approches utilisées en ergothérapie pour la réadaptation.....	40
A) L'intégration sensorielle.....	40
B) Les stratégies cognitives.....	41
II) Le transfert intermodal	43
2.1) Le transfert intermodal toucher-vision	43
2.1.1) Caractéristique du toucher par rapport à la vision et l'audition	44
Eléments de neurophysiologie.....	46
2.1.2) Spécificité des perceptions visuelle et haptique, et représentations spatiales imagées	49
A) Perception visuelle	49
B) Perception haptique	50
C) Représentations spatiales imagées.....	52
2.1.3) Caractéristiques du transfert entre le toucher et la vision	55
2.2) Développement du transfert intermodal.....	58

2.2.1) Chez le bébé	59
2.2.2) Evolution chez l'enfant	62
2.2.3) Difficultés d'intégration sensorielle selon différentes pathologies	66
Conclusion	67
PARTIE EXPERIMENTALE.....	68
Expérience 1 : Evaluation neuropsychologique des enfants présentant des troubles des apprentissages	
.....	71
1. Introduction	71
2. Méthode.....	72
2.1 Participants	72
2.2. Epreuves neuropsychologiques	73
2.2.1) Evaluation de l'efficacité intellectuelle à l'aide de l'échelle d'intelligence de Wechsler pour les enfants (WISC-III).....	73
2.2.2) Evaluation des processus mnésiques.....	75
2.2.3) Epreuves visuo-spatiales	77
2.2.4) Epreuves verbales.....	80
2.3. Procédure	80
2.4. Plan d'analyse.....	81
3. Résultats	81
3.1. Description des résultats de l'évaluation neuropsychologique par pathologie	82
3.1.1) Les enfants dyslexiques.....	84
3.1.2) Les enfants dysphasiques	85
3.1.3) Les enfants dyspraxiques	86
3.2 Analyse comparative entre les trois pathologies	87
3.2.1) Efficacité intellectuelle.....	88
3.2.2) Mémoire	90
3.2.3) Epreuves visuo-spatiales	91
3.2.4) Langage	91
4. Discussion	93
Expérience 2 : Etude développementale du transfert intermodal entre le toucher et la vision chez l'enfant d'âge scolaire.....	99
1. Introduction	99
2. Méthode.....	100
2.1 Participants	100
2.2 Matériel.....	101
2.2.1 Maison en bois.....	101
2.2.2 Stimuli tactiles et visuels	101
2.3 Procédure	107
2.3.1) Transfert Toucher-Toucher	109
2.3.2) Transfert Toucher-Vision.....	109
2.3.3) Transfert Vision-Toucher.....	110
2.4 Plan d'expérience	110
2.5 Variables dépendantes	111
2.6 Plan d'analyse.....	111
3. Résultats	112

3.1 Analyse des bonnes réponses	112
3.1.1) Comparaison entre types de transfert	113
3.1.2) Transfert Toucher-Toucher	115
3.1.3) Transfert Toucher-Vision	117
3.1.4) Transfert Vision-Toucher	118
3.2 Analyse des temps de réponse	119
3.2.1) Comparaison entre types de transfert	121
3.2.2) Transfert Toucher-Toucher	123
3.2.3) Transfert Toucher-Vision	124
3.2.4) Transfert Vision-Toucher	125
4. Discussion	127

Expérience 3 : Etude du transfert intermodal chez les enfants présentant un trouble des apprentissages 131

1. Introduction	131
2. Méthode.....	133
2.1. Participants	133
2.1.1) Enfants présentant un trouble des apprentissages.	133
2.2 Matériel.....	134
2.3 Procédure	134
2.4 Plan d'analyse.....	135
3. Résultats	136
3.1. Analyse des bonnes réponses	136
3.1.1) Comparaison entre types de transfert	138
3.1.2) Transfert Toucher-Toucher	140
3.1.3) Transfert Toucher-Vision.....	141
3.1.4) Transfert Vision-Toucher.....	142
3.2. Analyse des temps de réponse	144
3.2.4) Comparaison entre types de transfert	145
3.2.2) Transfert Toucher-Toucher	148
3.2.3) Transfert Toucher-Vision.....	149
3.2.4) Transfert Vision-Toucher.....	151
3.3. Analyse de l'orientation des formes composites.....	154
3.4.1) Analyse sur les bonnes réponses	154
3.4.2) Analyse sur les temps de réponse.....	155
4. Discussion	157

4. Analyse des corrélations entre les épreuves neuropsychologiques et les épreuves de transfert intra et intermodales 162

1. Introduction	162
2. Résultats et discussion.....	163
2.1. Pour les enfants dyslexiques.....	164
A) Analyses sur les bonnes réponses.....	164
B) Analyses sur les temps de réponse	166
2.2 Pour les enfants dysphasiques	168
A) Analyses sur les bonnes réponses.....	168
B) Analyses sur les temps de réponse	170
2.3. Pour les enfants dyspraxiques	172
A) Analyses sur les bonnes réponses.....	172
B) Analyses sur les temps de réponse	173

3. Conclusion.....	174
DISCUSSION GENERALE	176
BIBLIOGRAPHIE	184
ANNEXES	201
ANNEXE A	201
ANNEXE B.....	204
ANNEXE C	204
ANNEXE D	204
ANNEXE E.....	205

INTRODUCTION GENERALE

L'étude du transfert intermodal permet d'observer les capacités cognitives humaines en terme d'intégration sensorielle. Dans les appariements intermodaux, un objet (ou une propriété) est perçu par le biais d'une modalité (par exemple, la vision), et doit être reconnu via le biais d'une autre modalité (par exemple, le toucher). Ceci permet d'évaluer le « transfert intermodal », c'est-à-dire la communication de l'information d'une modalité à l'autre.

Dans les troubles des apprentissages du langage écrit, il est décrit des difficultés d'intégration sensorielle entre l'audition et la vision. Bryant et Bradley (1985) suggèrent que le problème de certains apprentis lecteurs résiderait dans la difficulté à établir des liens entre l'image visuelle des mots et leur image auditive. Pour tenter de remédier à cette difficulté, ces auteurs ont préconisé l'utilisation d'une méthode « multisensorielle » d'apprentissage de la lecture qui ne sollicite pas uniquement les modalités sensorielles visuelle et auditive, mais également la modalité haptique (tactilo-kinesthésique) manuelle. En effet, la main n'a pas seulement une fonction motrice de transport ou de transformation des objets de notre environnement mais elle possède également une fonction perceptive efficiente (Hatwell et al., 2000). Ainsi, les propriétés des objets peuvent être perçues à partir d'une exploration volontaire et active d'une ou des deux mains, dénommée perception tactilo-kinesthésique ou haptique. Par ailleurs, la modalité haptique peut à la

fois appréhender des données spatiales qu'elle partage avec le système visuel mais également des données temporelles qui la rapprochent du traitement auditif. Les recherches sur la remédiation en lecture et les méthodes multisensorielles semblent favoriser l'hypothèse selon laquelle le recours à la modalité haptique manuelle fournirait un moyen de favoriser la connexion entre l'image visuelle d'un mot et son image auditive (Fernald, 1943 ; Ofman et Schaevitz, 1963 ; Hulme, 1979, 1981).

De plus, les enfants présentant un trouble du langage écrit ont tendance à confondre les lettres ayant la même forme mais une orientation spatiale différente, telles p/q, b/d, p/d (Badian 2005 ; Brendler et Lachmann 2001 ; Fisher et al 1978 ; Miles 1993 ; Terepocki et al 2002). Ces erreurs d'inversion, ou erreurs en miroir, sont communes chez les apprentis-lecteurs et raréfient normalement avec l'expérience de la lecture. Or, chez les sujets dyslexiques, cette difficulté persiste chez l'adulte et s'associe à des inversions portant sur l'ordre des lettres dans le mot.

Nous nous interrogeons dans ce travail sur l'aide apportée par la modalité haptique dans la rééducation des troubles du langage écrit. Est-ce que le fait d'explorer manuellement l'orientation d'une forme géométrique peut aider la perception visuelle à repérer cette orientation ? Pour permettre de répondre à cette question, nous allons observer le transfert intermodal toucher-vision de formes géométriques orientées chez des enfants présentant des troubles des apprentissages et plus particulièrement présentant des troubles du langage écrit. Une évaluation neuropsychologique des processus cognitifs impliqués dans les tâches de transfert intramodal Toucher-Toucher et intermodal Toucher-Vision et Vision-Toucher de formes géométriques sera également effectuée. Cette évaluation testera l'efficacité intellectuelle (pré requis pour parler de trouble spécifique des apprentissages), la mémoire auditive et visuelle à court terme et de travail, ainsi que les capacités de perception visuo-spatiale.

Afin de pouvoir interpréter les résultats obtenus dans les troubles des apprentissages, nous allons observer le développement de la reconnaissance de formes géométriques orientées chez des enfants tout venant. Cette étude permettra également d'établir à quel âge la reconnaissance des orientations est acquise.

L'objectif des travaux de cette thèse est donc de mieux cerner les capacités d'intégration sensorielle entre le toucher et la vision chez des enfants présentant des difficultés de langage écrit afin d'envisager ultérieurement l'utilisation du toucher dans la rééducation de ces troubles.

UNE REVUE DE LA LITTERATURE

I. Description des troubles des apprentissages

On classe souvent les troubles des apprentissages ou troubles développementaux en deux grandes catégories : les troubles du langage oral et écrit, et les troubles visuo-spatiaux ou dysfonctions non verbales, ces dernières faisant référence à un ensemble de manifestations résultant d'un mauvais fonctionnement de l'hémisphère droit, auquel on associe généralement des habiletés dans la perception visuelle de l'espace, de la mémoire visuelle et de l'interprétation des émotions. Par opposition, l'hémisphère gauche est le siège du langage et des habiletés s'y rattachant.

Pour cette thèse, nous avons évalué des enfants dyslexiques, dysphasiques et dyspraxiques. Nous allons décrire pour chaque pathologie, la symptomatologie, les hypothèses explicatives des troubles avec les données de la neuro-imagerie, ainsi que les méthodes de remédiations utilisées.

1.1) La dyslexie

1.1.1) Symptomatologie

La dyslexie développementale ou trouble spécifique de la lecture (que l'on oppose à la dyslexie acquise chez l'adulte), consiste en un retard d'au moins deux ans dans l'apprentissage de la lecture en dépit d'un enseignement correct, d'une intelligence normale, et de conditions socioculturelles adéquates. Cette définition, présentée en 1968 par la Fédération Mondiale de Neurologie (Lovett, 1992) met l'accent sur l'absence de causes apparentes de ce trouble du développement. Selon une autre définition, la dyslexie développementale est un déficit spécifique et persistant de l'acquisition de la lecture, survenant de façon inattendue chez un enfant d'intelligence normale, en dépit d'une

instruction adéquate et en l'absence de déficits sensoriels visuel ou auditif sévères, d'une pathologie psychiatrique ou neurologique avérée ou de carences psychoaffectives graves. Cette dernière définition est retenue par les deux principaux manuels de classification internationale des maladies : le manuel Diagnostique et Statistique des Maladies mentales (DSM-IV, 1996) et la Classification Internationale des Maladies (CIM 10, 1996).

La prévalence de la dyslexie dans l'expertise sur les troubles des apprentissages (2007) est de 3 à 5% vers l'âge de 10 ans, dont 1% de cas graves. Les formes cliniques de la dyslexie varient selon le degré de sévérité du déficit et la présence de comorbidités (par exemple association avec un Trouble Déficitaire de l'Attention avec ou sans Hyperactivité [Touzin, 1999], un Trouble du Langage Oral ou un Trouble d'Intégration visuel ou moteur). En ce qui concerne, le facteur sexe, le rapport garçon/fille est estimé à 2/1 pour la dyslexie.

1.1.2) Modèles cognitifs

Les études en neuropsychologie et en psychologie cognitive chez les adultes, en particulier ceux qui sont devenus alexiques à la suite d'une lésion cérébrale, ont permis de spécifier les différents traitements qui interviennent entre le moment où le mot écrit est vu et celui où il est compris. Quand le lecteur habile est face à des mots connus et familiers, la lecture se résume à une série de traitements automatiques et rapides d'activations lexicales. Les formes orthographiques, phonologiques et sémantiques, préalablement conservées en mémoire à long terme dans différents lexiques mentaux, sont activées. Ces activations successives définissent **la voie lexicale** directe d'accès à la prononciation du mot écrit. On parle aussi d'une **procédure par adressage** pour rendre compte de ces opérations automatiques d'activation. Cette voie lexicale véhicule les mots connus et familiers du lecteur. Cependant, lorsque le lecteur est confronté à un mot qu'il ne connaît pas, celui-ci

n'a aucune représentation lexicale préalable. Pour pouvoir le lire correctement, le sujet doit alors le déchiffrer en y appliquant un traitement de nature phonologique qui vise à convertir les graphèmes en phonèmes. Cette procédure définit la voie indirecte d'accès à la prononciation du mot écrit, appelée aussi **voie d'assemblage**.

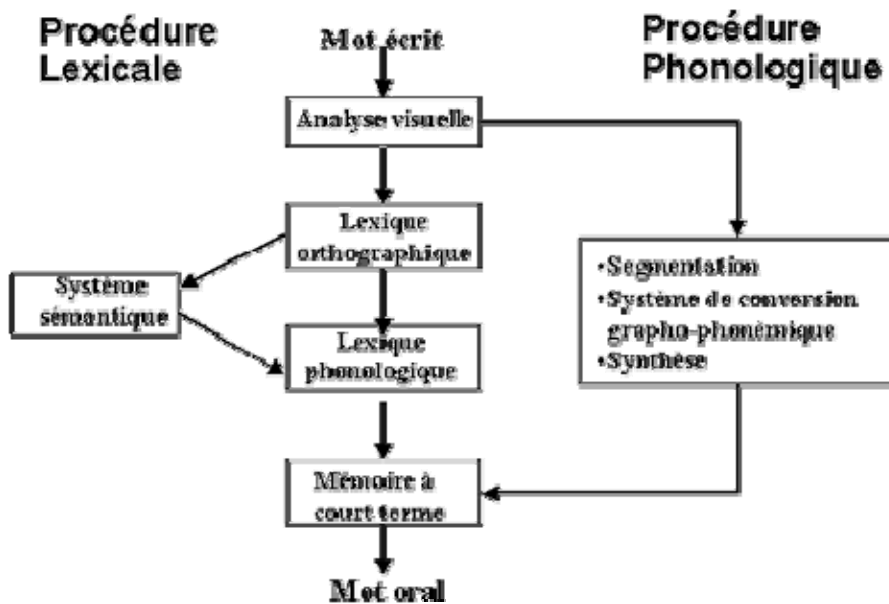


Figure 1 : **Le modèle double voie**

C'est grâce aux modèles cognitifs du langage écrit adaptés à l'adulte que l'on a pu distinguer deux sous-types de dyslexie : la dyslexie phonologique et la dyslexie de surface. La dyslexie phonologique se caractérise par une difficulté à utiliser la voie d'assemblage et les correspondances grapho-phonémiques, et la dyslexie de surface, par une difficulté à utiliser la stratégie lexicale, ainsi qu'une tendance à recourir systématiquement à l'assemblage grapho-phonémique. En contraste avec la dyslexie phonologique, la dyslexie de surface n'est pas associée à une défaillance du traitement phonologique (Plaza, 1999).

Les classifications des dyslexies de développement se réfèrent aux modèles neuropsychologiques que nous venons de décrire chez l'adulte cérébrolésé et aux modèles du développement du langage écrit. Elles ne résultent pas d'une lésion cérébrale, mais se

manifestent lors de l'acquisition du langage. Les profils dissociés observés chez l'adulte sont rarement retrouvés chez l'enfant qui possède généralement, un déficit des deux procédures (assemblage et adressage) appelé dyslexie mixte. D'après les études de groupes, il ressort que, quelle que soit la langue [française (Genard et al., 1998 ; Sprenger-Charolles et al., 2000) ou anglaise (Castles et al., 1993 ; Manis et al., 1996 ; Stanovitch et al., 1997)] et la méthodologie, les enfants dyslexiques ont un déficit des deux procédures dans plus de 50 % des cas, alors que les déficits purs phonologiques ou orthographiques (de surface) sont plus rares. La question des sous-types de dyslexie a des implications directes dans la création des modèles de la lecture mais aussi pour la prise en charge des enfants.

1.1.3) Les hypothèses explicatives de la dyslexie

Plusieurs hypothèses peuvent être avancées concernant les mécanismes de la dyslexie. Nous allons présenter l'hypothèse interprétative dominante de la dyslexie qui est l'hypothèse phonologique avec les données de la neuro-imagerie. Nous présenterons ensuite d'autres hypothèses qui portent sur des troubles associés aux troubles phonologiques : l'hypothèse visuelle, cérébelleuse, de traitement temporel et intermodale de couplage audition-vision. Pour finir, nous présenterons brièvement les données génétiques.

A) L'hypothèse phonologique

Les recherches menées sur l'apprentissage de la lecture et ses troubles sont multiples. Certaines se sont focalisées sur la dimension phonologique impliquée dans la compréhension du principe alphabétique. En effet, l'un des facteurs considéré comme le

plus prédictif de réussite en lecture, réside dans le développement des capacités métaphonologiques. Ces capacités sont définies comme celles qui permettent à l'enfant d'identifier les composants phonologiques des unités linguistiques et de les manipuler intentionnellement. L'activité de lecture consiste, d'une part, à développer des représentations phonologiques explicites et des représentations orthographiques et, d'autre part, à établir des connexions entre ces deux types de représentations (Snowling, 2000; Sprenger-Charolles & Colé, 2003). L'enfant apprenti lecteur doit identifier tous les mots nouveaux puisqu'il n'a pas encore constitué son stock orthographique. Il va devoir les segmenter en unités correspondant aux phonèmes du langage oral qu'il connaît. Pour identifier un mot irrégulier, il va s'appuyer sur les règles de correspondance graphème-phonème, puis va corriger en fonction de sa connaissance du sens du mot. Par exemple, phonétiquement, « Femme » sera d'abord lu « fème » puis corrigé « fame » car ce mot existe dans le langage oral. Puis, progressivement, l'enfant remplace la procédure phonologique par une procédure orthographique au fur et à mesure que le stock se développe. La procédure phonologique est la base de l'apprentissage du langage écrit (Sprenger-Charolles et Casalis, 1995). Ce processus phonologique conditionne aussi la constitution du lexique orthographique donc de la procédure d'adressage. Le déficit phonologique préexiste chez les enfants qui vont devenir dyslexiques, comme l'ont démontré des études longitudinales d'enfants observés depuis la maternelle (Gallagher, Frith, & Snowling, 2000).

Les données actuelles de l'imagerie cérébrale vont dans ce sens. En effet, trois zones de l'hémisphère gauche du cerveau humain sont impliquées dans la lecture (Shaywitz et al., 2002). Il s'agit du gyrus frontal inférieur (en bleu) qui serait impliqué dans la production des phonèmes, de l'aire occipito-temporale (en vert) pour l'identification automatique des mots préalablement mémorisés, et de l'aire pariéto-

temporale (en rose) pour l'intégration des dimensions orthographique, phonologique et lexico-sémantique. Ces trois aires constituent en quelque sorte le système cérébral de la lecture (cf. Figure 2).

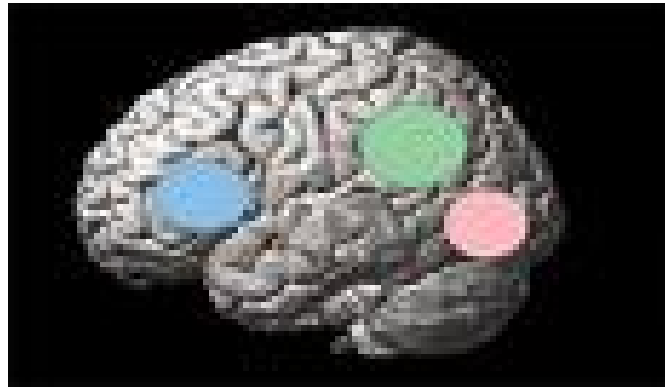


Figure 2 : Les trois grandes régions cérébrales impliquées dans la lecture (d'après Shaywitz et al. 2002).

Chez les sujets dyslexiques, l'activité neuronale dans ces trois zones est plus faible que chez des sujets témoins (Paulesu et al., 2001; Pugh et al., 2001) (Figure 3).

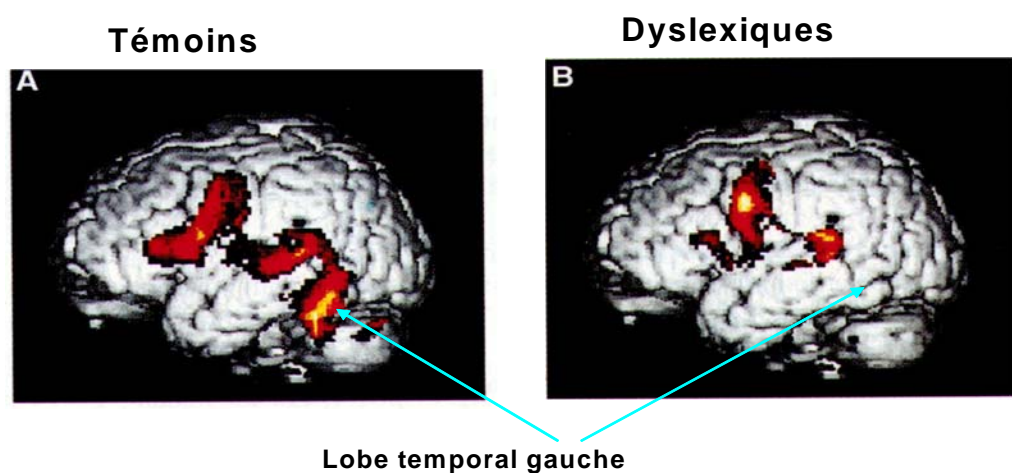


Figure 3 : Activité cérébrale pendant la lecture silencieuse des normo-lecteurs (panel A) et des dyslexiques (panel B) en Italie, France et Angleterre (selon Paulesu et al., 2001).

L'imagerie cérébrale fonctionnelle montre le pendant neural de ce qui est observé sur le plan comportemental. Pour autant, elle ne permet pas de dire si de réels

dysfonctionnements organiques sont à l'origine de ces faibles activations cérébrales. Il est par conséquent nécessaire d'observer la structure fine du cerveau. L'imagerie structurale permet d'observer les coupes anatomiques du cerveau. Le cerveau est divisé en matière grise (le cortex) située essentiellement à la surface du cerveau, et en matière blanche composée de fibres reliant les aires du cortex. Dans le cerveau dyslexique, on observe une réduction du volume de matière grise dans deux des aires liées à la lecture : l'aire frontale et l'aire pariéto-temporale, mais pas dans la zone occipito-temporale (Eckert, 2004). Ce n'est donc pas parce que cette dernière zone est sous activée qu'elle est déficiente d'un point de vue structural. Dans la mesure où cette aire est impliquée dans le traitement orthographique, on peut supposer que son hypo-activation reflète simplement le fait que les représentations orthographiques de l'enfant dyslexique ont été faiblement alimentées et entraînées, en raison du dysfonctionnement organique des deux autres aires, qui est plus spécifiquement relié au déficit phonologique. Par ailleurs, l'imagerie de diffusion permet d'observer les fibres de matière blanche reliant les aires corticales. Chez les dyslexiques, cette technique montre une connectivité plus faible sous les aires pariéto-temporales. Ces dernières ont donc non seulement un volume moindre de matière grise, mais sont également moins bien connectées entre elles et aux autres aires du cerveau.

Les observations effectuées par les chercheurs sur des cerveaux de personnes dyslexiques post-mortem, montrent des ectopies et autres anomalies subtiles à la surface du cortex (Galaburda, Sherman, Rosen, Aboitiz, & Geschwind, 1985) consécutives à des problèmes de migrations neuronales. A un certain stade du développement fœtal (16-24 semaines chez l'humain), les neurones situés dans une zone profonde du cerveau doivent migrer vers leur destination dans le cortex. Au cours de la migration, il peut arriver qu'un groupe de neurones manque sa cible dans une des six couches du cortex, et s'accumulant au-delà, ils vont créer une ectopie. On peut comparer une ectopie à un amas de cellules d'à

peine un millimètre à la surface du cortex. Chez les dyslexiques, ces ectopies sont situées majoritairement dans les aires du langage de l'hémisphère gauche, en particulier dans les aires frontales et pariéto-temporales impliquées dans la phonologie et la lecture. On peut donc y voir la cause directe du déficit phonologique (et donc de lecture) des dyslexiques (Ramus, 2005).

Les hypothèses que nous allons décrire à présent acceptent toute la prédominance du trouble phonologique dans la dyslexie. Ces hypothèses tentent de trouver d'autres facteurs pour expliquer la diversité des dyslexies que l'on peut rencontrer, ainsi que certains troubles au niveau visuel ou auditif notamment qui ne peuvent être expliqués par un trouble phonologique.

B) L'hypothèse visuelle

De nombreuses études ont mis en évidence des performances atypiques chez les dyslexiques dans des tâches visuo-perceptives, oculomotrices et visuo-attentionnelles qui, selon de nombreux chercheurs, reflètent un dysfonctionnement de la voie magnocellulaire. Livingstone et al. (1991) ont montré une désorganisation de la couche ventrale, magnocellulaire des corps genouillés latéraux ; or cette couche est celle qui est particulièrement sensible aux stimuli visuels présentés rapidement avec faible contraste et faible résolution spatiale alors que la couche dorsale parvocellulaire est sensible à la couleur, aux stimuli de haute résolution spatiale.

L'idée selon laquelle les dyslexiques présentent des troubles visuels n'est pas nouvelle : avant que l'hypothèse phonologique ne devienne dominante, le terme de « cécité verbale congénitale » était utilisé pour rendre compte des difficultés importantes rencontrées par certains enfants dans l'apprentissage de la lecture, en dépit de capacités

intellectuelles normales (Morgan, 1896 ; Hinshelwood, 1900 ; voir Critchley, 1974 pour un historique du sujet). Cette hypothèse fut délaissée avec les travaux de Vellutino (1979) qui a contesté l'existence de troubles visuels chez les enfants dyslexiques, en affirmant l'origine phonologique de leurs troubles.

Toutefois, l'hypothèse visuelle réapparut dans les années 1980-90 grâce à une série de travaux mettant en évidence des difficultés perceptives pour des stimuli visuels de faible contraste, de faible fréquence spatiale ou de haute fréquence temporelle ainsi qu'une faible sensibilité aux mouvements visuels chez les dyslexiques (voir par exemple Lovegrove, Bowling, Badcock, et al. 1980 ; Lovegrove, Martin, Bowling, et al. 1982 ; Livingstone, Rosen, Drislane, et al. 1991). En effet, le système magnocellulaire joue un rôle essentiel pour diriger l'attention visuelle, pour contrôler des mouvements oculaires et pour la recherche visuelle : trois habiletés qui ont un rôle dans la lecture (Stein, 1994 ; Stein & Walsh, 1997 ; Stein & Talcott, 1999 ; Stein, 2001, 2003). Talcott et al. (2000) suggéraient un lien entre ces traitements visuels et les habiletés de lecture, en montrant une corrélation entre la sensibilité au mouvement et le niveau orthographique dans un groupe d'enfants dyslexiques. Depuis lors, de très nombreuses études ont mis en évidence des particularités dans les performances des dyslexiques sur des tâches psychophysiques, oculomotrices, et visuo-attentionnelles qui, selon les défenseurs de la théorie magnocellulaire, signent l'existence d'un dysfonctionnement de la voie magnocellulaire/dorsale, et plus particulièrement du cortex pariétal droit. Néanmoins, cette théorie subit depuis quelques années de vigoureuses critiques aussi bien théoriques que méthodologiques.

C) L'hypothèse cérébelleuse

Certaines associations rencontrées chez l'enfant dyslexique ont attiré l'attention des chercheurs : un retard dans les étapes du développement moteur, des troubles de nature

séquentielle et temporelle (dire l'heure, se rappeler les mois de l'année), et surtout la présence de troubles de la coordination motrice et de troubles de l'équilibre, tous ces éléments évoquant une dysfonction du cervelet.

Un dysfonctionnement du cervelet peut affecter la lecture de différentes manières. Il est impliqué dans le contrôle des mouvements oculaires, dans l'attention visuo-spatiale, dans la vision périphérique, tous ces aspects étant des composantes essentielles de la lecture. Ceci va dans la continuité de l'hypothèse visuelle. [Pour une description détaillée de cette hypothèse voir le rapport Inserm 2007, chapitre 16].

D) L'hypothèse du traitement temporel

Depuis de nombreuses années, Tallal (1996) a émis l'hypothèse d'un mauvais décodage du langage lié à un traitement insuffisamment rapide de l'information sonore du langage par les enfants dyslexiques. Cette hypothèse a été reprise pour élaborer une proposition de rééducation des enfants mauvais lecteurs : des exercices d'entraînement sur ordinateur visent à améliorer la vitesse de discrimination de certaines séquences sonores comportant des stimuli verbaux et non-verbaux (Habib et al., 1999). [Pour une description détaillée de cette hypothèse du traitement temporel de Tallal voir le rapport Inserm 2007, chapitre 17].

E) L'hypothèse intermodale : couplage audition-vision

Plaza et Cohen (2005) évoquent l'hypothèse intermodale pour expliquer certains troubles de la dyslexie. Ils suggèrent que les enfants dyslexiques ont des difficultés à associer les étiquettes verbales avec les stimuli visuels (Mayringer et Wimmer, 2000 ; Windfuhr et Snowling, 2001). Ce déficit d'association peut produire des effets sur

l'apprentissage de la lecture indépendamment des problèmes d'éveil phonologique. Mayringer et Wimmer (2000) suggèrent que les capacités d'apprentissage de l'association des paires visuel-verbal reposent sur l'aptitude à établir le lien entre le mot et son orthographe. En retour, cette difficulté d'apprentissage peut ralentir le développement de la lecture automatique. En revanche, les données concernant l'apprentissage d'association de paires visuel-visuel montrent que les enfants dyslexiques ont les mêmes performances que les normo-lecteurs (Lieberman, Mann, Shankweiler, et Werfman, 1982 ; Nelson et Warrington, 1980 ; Rapala et Brady, 1990 ; Vellutino, Steger et Pruzek, 1973) et qu'ils n'ont pas de difficultés avec les apprentissages non-verbaux (Vellutino, Steger, Harding et Phillips, 1975 ; Vellutino, Scanlon, et Spearing, 1995).

D'autres auteurs relient les hypothèses temporelle et intermodale visuel-verbales. Breznitz (2002) explique que le système verbal et le système visuel ne traitent pas l'information de la même façon. La discrimination et l'identification visuelle sont plus rapides que la discrimination et l'identification verbale. La bonne reconnaissance d'un mot requiert des aspects visuels et auditifs d'un mot imprimé, qui doivent être combinés dans le cerveau. Dans ce sens, les difficultés de lecture s'expliqueraient par un déficit de vitesse de traitement, qui affecte les connexions entre les voies visuelles/orthographe et auditives/phonologie. Wolf, Bowers et Biddle (2000), Wolf et al (2002) proposent l'hypothèse d'un double déficit qui intègre les processus phonologiques et les processus de dénomination rapide comme sources d'un trouble de lecture. Les structures cognitives de la dénomination rapide sont conceptualisées par un ensemble de processus ordonnés chronologiquement : perceptifs (détection visuelle, discrimination et reconnaissance), lexicaux (récupération des mots) puis moteur (articulation).

Les études de Plaza et Cohen ont montré qu'en français, l'éveil phonologique et la dénomination rapide pouvaient expliquer une part importante de la variance dans la

lecture, à la fin de la Grande Section Maternelle (Plaza et Cohen, 2003) et au CP (Plaza et Cohen, 2004). Ces auteurs (Plaza et Cohen, 2005) ont effectués une étude sur 124 enfants de 6 ans en fin de CP comprenant 55 enfants mauvais lecteurs et 66 enfants bons lecteurs auxquels ils ont fait passer des épreuves de transfert intermodal auditif-verbal, visuel-verbal et visuel-visuel. L'épreuve de transfert intermodal auditif-verbal était une épreuve de conscience phonologique. L'expérimentateur énonçait oralement un pseudo-mot et l'enfant devait répéter le pseudo-mot en supprimant le premier phonème. L'épreuve de transfert intermodal visuel-verbal était une épreuve de dénomination rapide dérivé du RAN Test (Denckla et Rudel, 1974). Enfin, l'épreuve de transfert intermodal visuel-visuel était une tâche de codage. L'enfant devait associer visuellement un chiffre avec un signe graphique (non-alphabétique). Les résultats montrent l'existence de difficultés dans le transfert intermodal auditif-verbal et visuel-verbal chez les mauvais lecteurs. En revanche, les résultats sont identiques en intramodal Vision-Vision, dans les deux groupes. Ces résultats confirment l'indépendance entre la dénomination rapide et les processus phonologiques, et soulignent l'influence de la vitesse de traitement visuel-verbal et auditif-verbal dans la lecture. La vitesse de traitement du transfert intermodal visuel-verbal semble être particulièrement importante pour apprendre à lire. Plaza et Cohen (2007) ont poursuivi leurs recherches et ont examiné les compétences prédictives de la lecture chez des enfants de Grande Section de Maternelle. Ils ont observé les processus phonologiques, la dénomination rapide et l'attention visuelle. Soixante-quinze enfants ont été évalués à la fin de la GSM puis à la fin du CP. Les résultats montrent que la conscience syllabique et l'attention visuelle sont les prédicteurs les plus importants au début de la lecture. Ces observations suggèrent fortement que l'acquisition du langage écrit repose sur des capacités intermodales linguistiques, perceptives et cognitives.

En résumé, les prédicteurs les plus fiables de l'apprentissage de la lecture sont les capacités d'analyse phonémique et le niveau de connaissance des lettres, auxquelles s'ajoutent les capacités de mémoire à court terme phonologique et de dénomination rapide.

D. Données génétiques

L'hypothèse de la nature familiale de la dyslexie est évoquée depuis longtemps (Stephenson, 1907 ; Hallgren, 1950) et, un faisceau de présomptions rassemblées depuis une vingtaine d'années fait penser que la dyslexie possède une origine génétique (De Fries et coll., 1987). Si un enfant est dyslexique, il existe un risque d'environ 40 à 50% qu'un de ses frères et sœurs le soit, et qu'un des deux parents l'ait été (Vogler et al., 1985 ; Wolff et Melngailis, 1994). Le risque de retrouver le trouble chez un apparenté de l'individu atteint est de 8 à 10 fois plus élevé que dans la parenté d'un individu non atteint. Cependant, l'agrégation familiale suggère, mais ne prouve pas l'origine génétique. En effet, les familles partagent non seulement une partie de leurs gènes, mais également un certain environnement. On peut imaginer que des parents qui ne lisent pas constituent, pour leurs enfants, un environnement peu favorable à l'apprentissage de la lecture.

Les études de jumeaux permettent le mieux d'apprécier le poids des facteurs génétiques par rapports aux facteurs environnementaux. On observe que lorsqu'un jumeau monozygote est dyslexique, la probabilité que l'autre le soit également est d'environ 70 %. En revanche, la probabilité n'est plus que de 45 % pour les jumeaux dizygotes (Plomin et coll., 1994 ; Stromswold, 2001).

Toutes ces données permettent d'établir qu'il y a bien une contribution génétique à la dyslexie mais n'identifient pas les facteurs génétiques et n'expliquent pas leur mode d'action. Différentes localisations des gènes ont été impliquées dans la genèse des troubles de lecture (au niveau du chromosome 6 et du chromosome 15). [Pour un

approfondissement sur les analyses de liaisons génétiques voir le rapport Inserm 2007, chapitre 19].

Ces hypothèses permettent de déterminer des axes de rééducations spécifiques que nous allons décrire à présent.

1.1.4) Les rééducations

Selon les troubles prédominants de l'enfant dyslexique, un certain type de rééducation va être utilisé. La rééducation peut porter sur la conscience phonologique, la voie d'assemblage ou la voie d'adressage [pour une description détaillée voir C. Varin et M. Pagnard dans L'état des connaissances, 2004].

Dans le cadre de l'hypothèse intermodale, de nombreux chercheurs ont tenté d'introduire la modalité haptique comme médium entre la vision et l'audition. Ainsi, Fernald (1943) a proposé une technique « multisensorielle » à des enfants présentant des retards de lecture. Cette technique appelée le « tracé multisensoriel » consiste à tracer avec son index un mot écrit tout en le prononçant et le regardant. Chaque mot est tracé et prononcé préalablement par l'expérimentateur afin de fournir à l'enfant un modèle. L'enfant est invité à recommencer l'exercice jusqu'à ce qu'il soit capable de se passer du modèle. Ofman et Schaevitz (1963) se sont inspirés de cette technique et comparent l'efficacité de la technique du « tracé multisensoriel », du « tracé visuel » et de la « simple lecture » dans une tâche d'apprentissage de mots nouveaux. La technique du « tracé visuel » consiste à demander à l'enfant de suivre avec les yeux un mot qui s'écrit progressivement sous ses yeux. Les résultats révèlent que les faibles lecteurs (âgés de 13 ans) sont significativement plus aptes à apprendre des mots nouveaux avec les techniques du « tracé multisensoriel » et du « tracé visuel » qu'avec la technique de la « simple

lecture ». Ainsi, les auteurs font l'hypothèse que c'est l'induction d'un mouvement d'exploration (visuo-haptique ou visuel) dans l'appréhension d'un mot écrit qui faciliterait son apprentissage chez ce type de lecteurs.

Dans le même sens, Hulme (1979) teste chez des enfants plus jeunes (8-9 ans) l'hypothèse d'Ofman et Schaevitz selon laquelle une appréhension séquentielle de figures abstraites facilite leur mémorisation. L'exploration des figures se fait soit en regardant chacun des items (condition « visuelle »), soit en regardant et en traçant simultanément du doigt chacun d'entre eux (condition « visuo-haptique »). Les résultats montrent qu'après une présentation en condition visuo-haptique, les enfants obtiennent significativement de meilleures performances en reconnaissance que ceux ayant bénéficié d'une présentation en condition visuelle. Seule l'induction d'une exploration séquentielle d'une forme abstraite semble améliorer sa mémorisation. Hulme (1981) observe des résultats similaires avec des lettres chez des enfants en difficulté de lecture et des enfants normo-lecteurs (âgés de 9 ans).

Une étude de Bara, Gentaz et Colé (2004) a porté sur l'effet de l'exploration visuo-haptique et haptique de lettres dans les entraînements de préparation à la lecture à 5 ans. Cette étude prend en compte à la fois la conscience phonémique et le transfert intermodal. Les recherches antérieures montraient que seuls les entraînements destinés à développer la conscience phonémique des enfants (par rapport à des enfants entraînés uniquement avec des activités sémantiques) amélioraient significativement les performances en lecture. Cette étude montre que l'on peut amplifier ces effets bénéfiques avec une exploration visuelle, visuo-haptique et haptique des lettres.

1.2) La dysphasie

1.2.1) Symptomatologie

On parle de dysphasie lorsqu'il y a une altération du développement des fonctions langagières, que ce soit au niveau du vocabulaire, de la structuration syntaxique, ou de l'utilisation du langage dans la communication, entraînant l'échec d'une acquisition normale du langage expressif et/ou réceptif, qui ne résulte ni d'une déficience intellectuelle, ni d'une déficience de l'acuité auditive (surdité), ni d'une malformation congénitale du mécanisme oral périphérique, ni d'une hypostimulation, ni d'un désordre affectif grave.

Les dysphasies peuvent être classées en deux groupes, les dysphasies expressives (les plus fréquentes) et les dysphasies réceptives (George, 2007). Ces deux formes sont décrites dans les classifications du DSM-IV et de la CIM-10. Ces deux classifications sont très proches de la littérature internationale qui définit sous le terme « Troubles spécifiques du Développement du Langage Oral » (Specific Language Impairment) les troubles du langage oral qui ne sont pas secondaires à une autre pathologie.

Le DSM-IV évalue l'incidence de ce trouble entre 3 et 5 % de la population infantile pour les troubles expressifs purs auxquels s'ajoute 3 % pour les troubles mixtes (expressifs et réceptifs). Pour les dysphasies de développement (tous types confondus), la prévalence est de l'ordre de 0,5 à 1% des enfants d'âge préscolaire et scolaire (Rapport de J.C Ringard, 2000), et est plus fréquente chez les garçons que les filles.

A) La classification des dysphasies

Les dysphasies sont classées selon Rapin et Allen en 1983 en plusieurs types :

- 1) les atteintes mixtes (réceptives et expressives) comprenant l'agnosie auditivo-verbale (ou surdité verbale) et le déficit syntaxique phonologique ;
- 2) les atteintes expressives comprenant la dyspraxie verbale et le trouble de la programmation ou de la production phonologique ;
- 3) les atteintes au niveau du traitement de l'information ou de l'organisation de la signification comprenant le syndrome lexical syntaxique et le syndrome sémantique-pragmatique. [voir Actes du premier colloque sur l'audimut , 1995].

En France, la classification des dysphasies fait référence au modèle neuropsychologique de Crosson (1985), modèle issu de l'étude des aphasies adultes. La classification la plus répandue des dysphasies est celle de Gérard (Gérard et Brun, 2003) qui est une adaptation de la classification de Rapin et ses collaborateurs au modèle de Crosson. Ces classifications reflètent la diversité des tableaux cliniques au sein de l'étiquette dysphasie développementale. Ces pathologies ont des pronostics et des prises en charge différentes que nous allons détailler par la suite.

Le langage de l'enfant dysphasique présente un certain nombre de caractéristiques prédominantes selon le type de syndrome. Elle peut affecter plus particulièrement la phonologie, déficit touchant la combinaison des phonèmes à l'intérieur d'un mot. La syntaxe au niveau expressif et/ou réceptif. Les dysphasies réceptives sont plus rares. Pour l'ensemble des dysphasies, la compréhension, bien que rarement indemne, est supérieure à l'expression. Les difficultés de construction du lexique sont fréquentes, révélant souvent un profil disharmonieux avec un vocabulaire « savant », faisant illusion, alors que le vocabulaire quotidien est inconnu. Le stock lexical est atteint tant au niveau quantitatif que

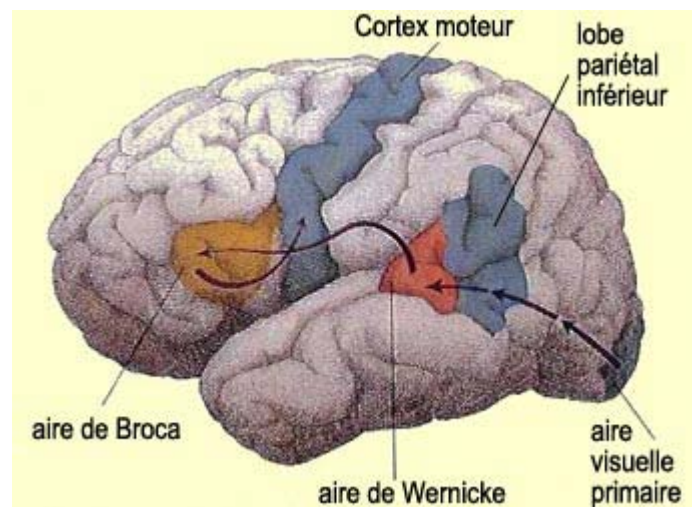
qualitatif, il est alors important de différencier un manque de vocabulaire et un manque du mot, la pauvreté de vocabulaire étant quasiment constante alors que les difficultés d'accès ne sont présentes que dans certains syndromes (Potier, 2003).

B) Les troubles associés

Le trouble du langage oral s'accompagne souvent de difficultés d'apprentissage scolaire, en particulier du langage écrit (Menyuk, 1991). On observe également des difficultés praxiques dans les zones oro-faciales et/ou au niveau des membres. Chez les enfants dont l'atteinte réceptive est plus sévère, les erreurs praxiques proviendraient d'une perturbation dans la représentation abstraite de la gestuelle, alors que dans la dysphasie expressive, il s'agirait davantage d'une dyspraxie idéomotrice. Non seulement la planification motrice nécessaire à la production de la parole peut-être atteinte et généralisée à l'ensemble des gestes nécessaires à l'exécution d'activités exigeant une motricité fine et grossière. L'enfant peut aussi avoir des difficultés de perception spatiale qui le gênent dans l'organisation de son espace et de son temps ou dans la planification de ses activités.

1.2.2) Données de la neuro-imagerie et génétiques

Paul Broca et Carl Wernicke ont décrit, à partir d'observations anatomo-cliniques d'adultes cérébrolésés ayant perdu leur langage oral, les fondements cérébraux spécifiques au langage. L'aire de Wernicke (rouge) (qui coïncide avec le planum temporale) sert au décodage des messages auditifs issus des aires auditives primaires. Le faisceau arqué relie l'aire de Wernicke à l'aire de Broca (jaune) qui va produire le message oral avec le cortex moteur primaire (bleu).



A) Imagerie fonctionnelle cérébrale dans les troubles du langage

Dans une étude du développement normal du débit sanguin cérébral chez des enfants droitiers, Chiron et al (1997) ont montré, que le débit hémisphérique et les débits régionaux gauches sont significativement plus élevés que les débits hémisphériques et régionaux droits, chez l'enfant normal de plus de 3 ans. Il semble que, dans les troubles du développement comme la dysphasie, il existe une anomalie de cette asymétrie hémisphérique normale avec une inversion des débits gauche et droit.

Ainsi dans les dysphasies de développement, Chiron et al (1999) trouvent que l'index gauche droite (c'est à dire le rapport débit gauche moins droit sur débit gauche plus

droit) était négatif dans toutes les régions (sauf la région de Broca) tandis qu'il était positif chez les enfants normaux. De plus en situation de tâche d'écoute dichotique (une tâche censée activer l'hémisphère gauche), les enfants dysphasiques ne parvenaient pas à augmenter de façon significative leur débit sanguin cérébral dans l'aire de Broca par rapport au repos, alors qu'ils augmentaient au contraire leur débit sanguin cérébral de l'autre côté. Il semble qu'il existe un trouble de la spécialisation hémisphérique au repos mais aussi une difficulté d'activation de l'hémisphère gauche en situation de tâche spécifique, difficulté qui tente d'être compensée par l'hémisphère droit. Dans cette même étude, Chiron et al comparent l'écoute dichotique avec une tâche de palpation dichaptique (palpation des deux formes différentes dans les deux mains, hors de la vue) censée activer l'hémisphère droit. Ils trouvent que les stimulations à droite n'entraînent pas non plus d'hyper débit pariétal droit chez les enfants dysphasiques contrairement à ce que ces stimulations entraînent dans la population contrôle.

Les études comportementales, dans une population d'enfants dysphasiques (Duvelleroy-Hommet, Billard, Lucas et al. 1995), montrent une spécialisation gauche lors des épreuves d'écoute dichotique testant la compréhension du langage. En revanche, les épreuves testant la production du langage (aire de Broca) évoquent une absence de spécialisation gauche de ces fonctions, et la palpation dichaptique testant la spécialisation hémisphérique droite des tâches de reconnaissance des formes montre un trouble de cette spécialisation hémisphérique droite, comme dans l'étude de Chiron.

Ces travaux suggèrent que les enfants dysphasiques, porteurs d'un trouble principalement sur le versant expressif, présentent un défaut de spécialisation hémisphérique gauche. De plus, l'absence de représentation hémisphérique droite des tâches de reconnaissance spatiale pourrait être une conséquence de la participation de l'hémisphère droit aux tâches de production langagière.

B) Données génétiques

Les études familiales classiques et du génome confirment l'existence d'un déterminisme génétique des dysphasies développementales. En compilant diverses études, on aboutit à une fréquence moyenne de troubles dysphasiques de 46 % parmi les apparentés d'un enfant atteint contre 18 % dans les groupes contrôles (Stromswold, 1998, 2001). Les arguments les plus forts pour une base génétique des dysphasies ont été apportés par les études de jumeaux (Lewis et Thompson, 1992 ; Bishop et al. 1995 ; Tomblin et Buckwalter, 1998). L'étude de Lewis et Thompson montre une concordance de 0,86 pour les monozygotes contre 0,48 pour les dizygotes.

1.2.3) Les rééducations

L'utilisation de divers gestes peut être utilisée comme moyen alternatif de communication chez les enfants dysphasiques inintelligibles. Par exemple, les gestes Borel-Maisonny (1966) associent un geste à un son. Ils sont utiles dans l'apprentissage de l'écrit dans ses aspects d'encodage et de décodage mais également, dans la rééducation des troubles articulatoires et phonologiques. Certains gestes sont représentatifs de la forme du graphème, d'autres, d'une image articulatoire. Ils permettent de visualiser les phonèmes et leur séquentialité, avant l'apprentissage de l'écrit. Ils permettent d'améliorer la conscience phonologique.

Une autre méthode qui associe plusieurs modalités sensorielles est la méthode Makaton (Grove et Walker, 1990). Au départ, cette méthode était destinée à des adultes sourds avec des difficultés d'apprentissage. Aujourd'hui, c'est un programme de langage et de communication qui associe gestes, pictogrammes et parole pour les personnes

présentant des difficultés d'apprentissage. Les gestes sont ceux de la langue des signes. Les pictogrammes servent à renforcer le sens des signes (Garnier-Lasek et Wavreille, 2004). .

Il y a une dizaine d'années, la stratégie de prédilection de la rééducation de l'enfant dysphasique à partir de 6 ans a été de rééduquer l'oral par l'écrit. La lecture étant envisagée comme un outil offrant un canal supplémentaire, notamment dans la rééducation de la phonologie. En effet, un moyen de repérer la suite séquentielle de phonèmes est l'appui sur l'écrit dans la conversion grapho-phonémique. Etant données les difficultés phonologiques ou articulatoires mais aussi les troubles de la mémoire de travail, les méthodes d'apprentissage de la lecture traditionnelles sont difficiles. C'est pourquoi l'apprentissage de la lecture pour des enfants dysphasiques est fondé sur la mise en place de la voie d'assemblage en s'appuyant fortement sur des moyens visuels. Toutefois, selon la prédominance de tel ou tel trouble, plusieurs méthodes ont été développées. Chez des sujets qui présentent des troubles phonologiques sévères ou qui conservent d'importantes difficultés d'oralisation, une méthode d'apprentissage sans oralisation type méthode Ledan peut-être proposée. Cette méthode a été élaborée dans les années quatre-vingt par deux Belges (Lovenfosse-Dantinne et Lecocq, 1992). Elle utilise la mimogestualité et la méthode visuo-graphique de lecture. La mimogestualité permet de contourner les troubles de la compréhension et/ou de l'expression en associant les canaux gestuel et visuel. Les mimes et gestes sont accompagnés d'un discours oral pour permettre à l'enfant d'augmenter son stock lexical. La méthode visuo-graphique de lecture utilise des gestes inspirés de la méthode Borel-Maisonny mais ici, le geste n'est pas associé à un son mais à un graphème (une lettre). L'accent est mis sur l'aspect visuel des lettres et non sur l'aspect phonétique qui est introduit dans un second temps. Le premier but est d'établir la correspondance geste/graphème et graphème/geste puis de travailler parallèlement les versants sonore et kinesthésique de la mise en sons. Les enfants mémoriseront donc une

séquence kinesthésique qui correspondra à un mot et ils associeront ensuite cette séquence kinesthésique à la forme sonore de ce mot.

Chez les autres enfants qui présentent des difficultés phonologiques modérées ou des troubles importants de la mémoire de travail, une approche type Borel-Maisonny ou imprégnation syllabique peut-être envisagée. [Pour une description de ces méthodes voir Sacy, 1960 ; Garnier-Lasek, 2000]

1.3) La dyspraxie

1.3.1) Symptomatologie

La dyspraxie est un trouble de la planification et de la coordination des mouvements qui sont orientés vers un but précis et nécessaires pour réaliser une action nouvelle. Ce trouble entraîne des difficultés plus ou moins sévères dans l'élaboration et l'automatisation des gestes volontaires. Ainsi, la personne dyspraxique apparaît incapable de planifier, d'organiser et de coordonner ses gestes en séquence (en ordre) pour produire une action nouvelle et adaptée à l'environnement dans lequel elle agit.

La dyspraxie est un trouble du « comment faire ». Les personnes dyspraxiques apprennent à exécuter les tâches motrices avec beaucoup de répétitions et cet apprentissage ne se généralise pas spontanément à d'autres situations. La personne doit donc apprendre chaque variante d'une activité comme si elle était totalement nouvelle.

La dyspraxie entraîne des incapacités qui interfèrent avec l'accomplissement des activités de la vie quotidienne, avec les apprentissages scolaires ou encore avec le travail.

On parle de dyspraxie développementale pour signifier que l'atteinte est congénitale (présente depuis la naissance). La dyspraxie développementale n'est pas liée à une lésion d'une zone précise du cerveau, mais au développement d'un ensemble de fonctions

neurologiques. La dyspraxie développementale n'est pas causée par une déficience motrice cérébrale, une déficience intellectuelle ou un trouble envahissant du développement.

A) Les différentes appellations de la dyspraxie

Au fil des années et selon différents auteurs, la dyspraxie a reçu plusieurs appellations. Dans la 10^{ème} révision de la Classification Internationale des Maladies (CIM-10), l'OMS classe la dyspraxie de développement sous le terme de « Trouble spécifique du développement moteur ». Ce trouble est décrit comme une altération sévère du développement de la coordination, non imputable exclusivement à un retard global ou à une affection neurologique spécifique, congénitale ou acquise.

Dans la classification de l'Association américaine de psychiatrie (DSM-IV, 2000), on utilise le terme « Developmental Coordination Disorder » (DCD), traduit en français par Trouble d'Acquisition de la Coordination (TAC). Cette appellation met l'accent sur l'aspect moteur, en spécifiant que les problèmes de coordination interfèrent avec l'apprentissage à l'école et la réalisation des activités de la vie quotidienne. En 1994, l'appellation DCD a fait l'objet d'un consensus et c'est actuellement le terme le plus utilisé aux Etats-Unis et au Canada anglais.

Les chercheurs ont remarqué une plus haute incidence de dyspraxie chez les garçons que chez les filles ; certains rapportent une proportion de deux garçons pour une fille alors que d'autres trouvent une proportion de quatre garçons pour une fille (Cermak, 1985). Dans le DSM-IV, on estime la prévalence du trouble de l'acquisition de la coordination à 6 % chez les enfants de 5 à 11 ans.

B) Données neurophysiologiques

Des troubles praxiques peuvent survenir suite à des lésions cérébrales, en particulier dans les zones pariéto-occipitales ou frontales (Lanzi, 1998). Ces lésions viennent entraver l'expression et le développement de fonctions spécifiques (perception dans le lobe occipital, intégration sensorielle dans le lobe pariétal) ou de fonctions transversales (attention visuo-spatiale dans le lobe pariétal, fonctions exécutives dans le lobe frontal) nécessaires au développement des praxies.

La dyspraxie peut aussi correspondre à une manifestation d'un trouble du développement. Il s'agirait alors d'une mauvaise prise en compte des informations (Berthoz, 1997) ou d'une altération du traitement temporel de l'information (Habib, 1997). Ces hypothèses rendent compte de la coexistence de symptômes moteurs et langagiers associés parfois aux dyspraxies de développement: la mauvaise prise en compte des informations extéroceptives ou proprioceptives serait responsable de l'incoordination et de la maladresse, une altération de l'information auditive provoquerait une mauvaise représentation phonologique entraînant des erreurs de transposition lettres/sons, enfin une altération de l'information visuelle aurait pour conséquence l'instabilité visuelle, responsable d'une mauvaise représentation orthographique.

La dyspraxie touchant plusieurs fonctions du cerveau, elle a des conséquences sur plusieurs aspects du développement : sensoriel, moteur, perceptuel et organisationnel (Breton et Léger, 2006).

- L'aspect sensoriel

Les fonctions sensorielles sont celles par lesquelles nos sens captent et interprètent

l'information provenant autant de notre corps que de l'environnement. Chez l'enfant dyspraxique, la gestion de l'information sensorielle est altérée. On observe un trouble d'intégration sensorielle et un trouble de modulation sensorielle.

Le trouble d'intégration sensorielle qui est prédominant dans les explications de la dyspraxie se définit par une incapacité du cerveau à interpréter et à organiser efficacement les informations captées par les sens (Ayres, 1972). L'enfant paraît incapable de se servir de ces renseignements pour orienter son action. On observe une difficulté à maintenir des contractions musculaires soutenues et efficaces (posture affaissée par exemple), une instabilité posturale, c'est à dire une incapacité à maintenir une posture stable et contrôlée et à bouger de façon harmonieuse vers un but précis. On observe également une pauvre discrimination tactile, correspondant à une incapacité à identifier les qualités, la position ou la fréquence d'une stimulation reçue par les sens du toucher. Il en résulte que l'enfant ne décode pas bien ce qu'il touche ou manipule avec ses mains. Par exemple, l'enfant ne peut dire où et combien de fois il a été touché, ou encore il ne peut, sans utiliser sa vision, identifier un objet usuel placé dans sa main.

Le trouble de modulation sensorielle montre une incapacité du cerveau à régulariser les informations sensorielles ; elles sont trop activées par le cerveau ou, à l'inverse, trop inhibées.

- L'aspect moteur

On observe des difficultés de motricité globale et de motricité fine. L'enfant dyspraxique montre des difficultés pour se tenir sur un pied ou marcher sur une poutre. Aux jeux de balle, il manque de coordination et de force pour lancer, attraper ou frapper du pied. Il manque d'harmonie et de synchronisme lorsque ses activités exigent la participation de plusieurs parties du corps. Il montre également une lenteur d'exécution

dans tous les types d'activités motrices. En ce qui concerne la motricité fine, on observe des difficultés pour la préhension et la manipulation d'objets et d'outils. On observe une mise en place tardive de la préférence manuelle, un manque de coordination œil-main, de l'utilisation simultanée ou alternée des deux mains et un manque de dissociation des doigts.

- L'aspect perceptuel

C'est surtout les perceptions visuelles et spatiales qui font défaut dans la dyspraxie. En effet, on observe que l'enfant dyspraxique interprète mal le sens et l'orientation des objets dans l'espace, ainsi que les relations de ces objets entre eux. Tel objet est-il à l'endroit ou à l'envers ? Est-il en haut ou en bas de l'autre ? L'enfant l'ignore. Il ne s'agit pas d'une méconnaissance des concepts spatiaux, mais d'une incapacité d'analyser la position de l'objet lui-même, celle de son corps et de la position de l'un par rapport à l'autre dans l'espace. Il en découle des difficultés à s'orienter, à distinguer la droite de la gauche, à bien interpréter les diagonales et à juger les distances. L'enfant est en difficulté lors de l'analyse visuelle d'une figure qu'il doit représenter. La représentation mentale est alors inadéquate. Il est évidemment très gêné pour écrire.

- L'aspect organisationnel

Devant des tâches motrices complexes, l'enfant dyspraxique est incapable de planifier et d'organiser ses gestes de façon harmonieuse pour arriver au résultat escompté. On observe un manque de méthode dans la façon d'aborder la tâche, l'enfant procédant de façon désorganisée.

Sur le plan scolaire

L'enfant dyspraxique va se trouver en difficultés dans certaines matières en raison de leur contenu et des habiletés qu'elles requièrent, particulièrement sur les plans moteurs et perceptuel. C'est le cas, notamment, pour l'écriture, la lecture, les mathématiques (géométrie), l'éducation physique et les arts plastiques. Par ailleurs, certains enfants dyspraxiques peuvent cumuler plusieurs troubles d'apprentissage. Dans les comorbidités les plus fréquentes, on trouve en premier le trouble déficitaire de l'attention avec ou sans hyperactivité (Dykman et Ackerman, 1991) et la dyslexie (Billard et al, 2005).

La question des liens entre troubles de la coordination et difficultés de lecture a fait l'objet d'un intérêt particulier. Une des questions majeures encore non résolues est de savoir s'il existe une forme particulière de dyslexie qui accompagnerait de façon spécifique les troubles de la coordination sensori-motrice chez le dyspraxique. Dans la plupart des travaux sur le sujet, il est rapporté que plus de la moitié des dyspraxiques ont également des troubles d'apprentissage de la lecture. Cette coïncidence entre troubles moteurs et troubles de l'apprentissage en général, et de la lecture en particulier, a été un des supports de la théorie cérébelleuse qui représente l'une des pistes dans la quête actuelle des chercheurs pour une meilleure compréhension des déficits neurocognitifs sous-jacents aux troubles des apprentissages.

1.3.2) L'hypothèse d'un trouble d'intégration sensorielle

Cette hypothèse est la première qui a été décrite et reste aujourd'hui dominante car unique. Cette théorie a été décrite par J. Ayres (1972), ergothérapeute. Elle s'appuie sur des concepts tirés de la neurophysiologie, de la neuropsychologie et de la psychologie développementale. Elle suggère que dans la dyspraxie, le problème reposerait principalement sur l'activité neuronale qui précède l'exécution du mouvement. Pour elle,

l'enfant dyspraxique présenterait une mauvaise intégration sensorielle interférant avec l'habileté à planifier des mouvements nouveaux ou inhabituels et à les exécuter. Les enfants dyspraxiques peuvent, en effet, atteindre un haut niveau de compétence dans des activités spécifiques très pratiquées, bien qu'ils ne puissent généraliser cette habileté à d'autres activités motrices pourtant similaires. Une intégration sensorielle adéquate amène l'enfant normal à se construire un schème cognitif lui permettant d'organiser et de planifier ses mouvements. Comme l'intégration sensorielle s'opère difficilement chez l'enfant dyspraxique, celui-ci est incapable de se construire une « carte cognitive » et d'évaluer l'importance des informations sensorielles reçues du monde extérieur et par le biais de son propre corps. Ayres considère que, de toutes les informations sensorielles, extéroceptives (visuelles, auditives, tactiles) comme intéroceptives (kinesthésiques, proprioceptives et vestibulaires) parvenant à l'enfant, les perturbations touchant le système de perception tactile seraient les plus susceptibles de produire le déficit de planification observé dans la dyspraxie. Par exemple, en l'absence d'un support visuel, il est difficile à l'enfant dyspraxique de savoir exactement où il a été touché sur sa main ou sur son bras, suggérant ainsi une perception défectueuse de l'intensité et de la localisation du stimulus tactile. L'enfant dyspraxique sera incapable de synchroniser (déficit d'intégration) les signaux provenant de l'environnement dont la détection conditionne la bonne séquence de sa réponse motrice.

1.3.3) Quelques approches utilisées en ergothérapie pour la réadaptation

A) L'intégration sensorielle

La thérapie d'intégration sensorielle vise à stimuler l'organisation des sensations, afin de produire des actions adaptées à l'environnement (Ayres, 1972). L'intégration sensorielle contribue à bâtir un répertoire de nouveaux mouvements.

Plusieurs autres types de thérapie se basent sur la répétition d'une tâche. L'approche d'intégration sensorielle s'appuie plutôt sur la stimulation et la construction de réponses sensori-motrices qui sont adaptées à des contextes variés. Elle met l'accent sur l'amélioration des praxies dans leurs différentes composantes sensorielles, afin d'entraîner une plus grande participation de l'enfant dyspraxique aux principales activités de sa vie quotidienne.

Voici un exemple de réadaptation basé sur l'intégration sensorielle : Apprentissage de la calligraphie avec la méthode ABC Boum ! L'intervention basée sur l'apprentissage de la calligraphie vise à ce que l'enfant atteigne un but fonctionnel, qui compte pour lui, tout en favorisant sa réussite. Comme l'apprentissage de l'écriture s'avère compromis pour la majorité des enfants dyspraxiques, cette activité doit faire régulièrement l'objet d'interventions en ergothérapie.

La méthode ABC Boum, créée en 1999 par l'ergothérapeute Natasha Rouleau vise à enseigner aux enfants la calligraphie. Cette méthode est basée sur une approche multisensorielle, faisant appel aux modalités visuelles, auditives, tactiles et kinesthésiques pour apprendre le sens du tracé des lettres. Dans cette méthode, chaque lettre est décomposée en différents traits d'écriture, auxquels sont associés une image (entrée visuelle), un bruit (entrée auditive), et une activité motrice guidée (entrées tactile et kinesthésique). Les 26 lettres de l'alphabet sont tracées à l'aide de 13 traits distincts.

Chacun des traits est appris au fur et à mesure qu'il est nécessaire dans la calligraphie d'une lettre. Par exemple, pour écrire la lettre « h », on enchaîne deux traits. Le premier est un trait vertical, tracé de haut en bas, représentant une goutte de pluie qui tombe en faisant « touc ». Le second est en forme de cloche, et on l'associe à une sauterelle qui saute en faisant « boing ». Chaque trait est démontré et pratiqué individuellement, avant d'être placé dans une séquence pour former une lettre.

La méthode met l'accent sur l'encodage des traits dans la mémoire corporelle de l'enfant par des activités qui requièrent des mouvements de grande amplitude et plusieurs exercices en grand format, au tableau par exemple. C'est seulement lorsque le tracé d'une lettre est acquis dans sa mémoire motrice que l'enfant est amené à le pratiquer sur une feuille d'exercice. Cet encodage moteur favorise énormément l'automatisation du geste relié à l'écriture de chaque lettre. Par la suite, il permet à l'enfant de consacrer son énergie à d'autres apprentissages, comme l'orthographe, la grammaire ou la composition.

B) Les stratégies cognitives

Du point de vue de l'approche cognitive, les difficultés expérimentées par les enfants dyspraxiques proviendraient en partie d'une incapacité à générer des stratégies efficaces de résolution de problèmes dans diverses situations courantes (Mandich, Polatajko, Missiuna et Miller, 2001).

On définit une stratégie cognitive comme étant un plan, élaboré mentalement, qui dirige l'action. La stratégie repose à la fois sur les expériences passées et sur la connaissance de la tâche à accomplir dans le moment présent. L'approche cognitive fournit un cadre d'intervention dans lequel le thérapeute aide l'enfant à développer et à utiliser ses propres stratégies devant les problèmes qu'il rencontre. Elle reconnaît le rôle de la cognition dans le mouvement et dans l'accomplissement des nouvelles tâches du quotidien.

En résumé, on voit bien que les enfants dyslexiques, dysphasiques et dyspraxiques ont chacun des atteintes spécifiques. Toutefois, malgré leurs différences, il s'agit de troubles du développement d'origine neurologique ; ces troubles sont marquants et permanents, c'est à dire qu'ils causent de grands retards et que les difficultés qu'ils entraînent persistent dans le temps ; ils ont tous de grandes répercussions sur la vie scolaire de l'enfant.

Nous venons de voir que pour chacune de ces pathologies, il n'y a pas de localisation neurologique définie expliquant les troubles, comme on peut en trouver chez des sujets cérébrolésés. L'utilisation d'une épreuve intermodale utilisant le toucher et la vision chez les enfants dyslexiques, dysphasiques et dyspraxiques va nous permettre d'envisager les troubles de ces enfants sous l'angle de l'intégration sensorielle. Cela permettra également d'observer ce qui peut être commun ou différent de ces trois pathologies dans une épreuve de transfert intermodal et de tester la pertinence d'utiliser la modalité haptique dans la rééducation du langage écrit.

II) Le transfert intermodal

L'exposé des différentes explications et des méthodes de rééducation des troubles des apprentissages montre à quel point la question de l'intégration sensorielle est centrale. Nous allons ici nous intéresser plus particulièrement à la modalité haptique et à la reconnaissance de formes à caractère spatial, car pour notre étude, nous avons choisi de faire passer des tâches de transfert intra et intermodal haptique-vision de formes géométriques simples et orientées.

Dans un premier temps, nous allons décrire la spécificité des modalités tactile et visuelle, les processus de perception visuelle et haptique d'un objet et les représentations spatiales imagées, ainsi que les caractéristiques du transfert entre le toucher et la vision. Dans un second temps, nous décrirons l'évolution du transfert intermodal toucher-vision au travers d'études chez le bébé et chez l'enfant d'âge pré-scolaire et scolaire.

2.1) Le transfert intermodal toucher-vision

L'intégration sensorielle est basée sur le processus neurologique permettant l'organisation des informations sensorielles reçues de son corps ou de l'environnement. Nos activités quotidiennes reposent toutes sur la participation simultanée et interactive des différents sens car la plupart des objets et événements nécessitent, pour être perçus, la mobilisation de plusieurs modalités sensorielles. Cette coordination entre les différentes informations sensorielles est nécessaire pour préserver l'unité des objets qui nous entourent. Une bonne intégration des informations est importante pour le développement des apprentissages chez l'enfant et permet d'améliorer la planification des actions.

Le transfert intermodal peut être défini comme la capacité de transférer une information prélevée dans une modalité pour être utilisée ensuite via une autre modalité.

Le transfert intermodal suppose des processus cognitifs complexes comme le traitement de l'information par une modalité, sa mémorisation et sa reconnaissance dans une autre modalité. De façon plus précise, Hatwell (1986) a détaillé 4 étapes : « 1) prise d'information, par les organes sensoriels, du stimulus-modèle ; 2) conservation en mémoire (à court terme) de cette information ; 3) prise d'information, par les organes sensoriels, des objets offerts au choix ; 4) opération cognitive de comparaison entre les objets perçus en phase 3) et la représentation mnésique du modèle, et décision perceptive finale (jugement d'identité ou de non-identité). » Ce transfert d'information d'une modalité à une autre est rendu possible notamment par l'existence des neurones bi- ou multimodaux qui répondent par exemple à des stimuli tactiles et/ou visuels, ainsi que tactiles/visuels/auditifs.

2.1.1) Caractéristique du toucher par rapport à la vision et l'audition

Le toucher partage des caractéristiques communes avec la vision et l'audition ce qui le place de façon intermédiaire entre ces deux modalités. Le toucher et la vision apportent tous deux une connaissance spatiale de l'environnement et de certaines propriétés des objets. Le toucher se distingue néanmoins de la vision et de l'audition car il est une modalité de contact dont les récepteurs sont répartis sur tout le corps. Cette caractéristique de proximo-réception a des conséquences. En effet, le champ perceptif tactile est limité à la zone de contact avec les objets. La perception tactile nécessite pour percevoir et appréhender les objets dans leur intégralité, des mouvements volontaires, d'une amplitude variant en fonction de la taille de ce qu'il faut percevoir, pour compenser l'exiguïté du champ perceptif tactile. La taille de ce champ varie alors en fonction des segments corporels mobilisés (un doigt, la main entière, les deux mains associées à des mouvements des bras, etc.). Des perceptions kinesthésiques issues de ces mouvements sont

nécessairement liées aux perceptions purement cutanées pour former un ensemble indissociable appelé perceptions tactilo-kinesthésiques ou « haptiques » (du terme anglais haptic, lui-même emprunté au grec et introduit en psychologie par Revesz, 1950; cf. Gibson, 1962). Il en résulte une appréhension morcelée, plus ou moins cohérente, parfois partielle et toujours très séquentielle, qui charge lourdement la mémoire de travail et qui nécessite, en fin d'exploration, un travail mental d'intégration et de synthèse pour aboutir à une représentation unifiée de l'objet (Revesz, 1950). Mais le percept tactile final dépend de la qualité des mouvements d'exploration effectués et de la qualité de la synthèse mentale faite à l'issue de l'exploration. En raison du rôle central que jouent ces mouvements d'exploration pour la perception tactile, ce sont les régions les plus mobiles et les mieux dotées en récepteurs sensoriels qui sont les plus performantes. Il s'agit de la région buccale, très utilisée par les nourrissons à cause de leur immaturité motrice, et surtout des mains (ou plus exactement des systèmes bras-main). Chez l'adulte, ces dernières constituent au plan cognitif le système perceptif haptique.

Au cours de cet exposé nous utiliserons indifféremment les termes de « toucher ou haptique ». Le terme toucher étant le plus souvent utilisé mais il faut l'entendre dans le sens toucher actif ou haptique qui vient d'être décrit.

Le caractère successif du toucher s'oppose à la simultanéité de la vision. Toutefois, le vaste champ perceptif visuel permet une appréhension globale et immédiate de beaucoup d'aspects du stimulus mais des mouvements d'exploration y sont également nécessaires pour tirer les invariants spécifiant les propriétés spatiales de l'environnement. Cependant, l'amplitude de ces mouvements oculaires est sans commune mesure avec celle des mouvements manuels, surtout lorsque ceux-ci sont associés à ceux des bras. Il est donc justifié de considérer le toucher comme beaucoup plus séquentiel que la vision (Hatwell,

2000). Le toucher informe alors le sujet sur les propriétés spatiales de l'environnement et, de ce point de vue, il est largement redondant avec la vision puisqu'il permet d'accéder, sous certaines conditions, aux propriétés physiques et spatiales de texture, forme, taille, localisation (direction et distance), orientation, etc.

Le fonctionnement du toucher se rapproche de celui de l'audition sur la dimension séquentielle. En effet, l'audition, domaine du successif, est la modalité la plus adaptée à la perception des stimuli temporels (durées, rythmes, parole). Toutefois, dans l'audition, l'ordre d'apparition des stimulus ne peut être modifié car il est porteur de sens (dans la parole, la musique, etc.), alors que le toucher peut revenir en arrière, explorer dans n'importe quelle direction, repasser plusieurs fois sur les mêmes parties du stimulus, de la même façon que l'œil explore une scène ou une image de grandes dimensions.

Eléments de neurophysiologie

Les progrès des techniques d'imagerie cérébrale et ceux de la neuropsychologie permettent aujourd'hui une approche plus fine de la manière dont fonctionne la modalité haptique et dont elle est intégrée aux autres sources d'informations perceptives (Hatwell, 1986; Heller & Schiff, 1991; Millar, 1994; Streri, 1991). Les études de neuro-imagerie suggèrent la présence d'un réseau lié à la multimodalité vision-haptique d'objet dans le cortex occipito-temporal (Amedi, Malach, Hendler, Peled et Zohary, 2001), ainsi que l'activation d'aires multimodales (cortex antérieur cingulaire, lobule pariétal inférieur, le cortex préfrontal dorsolatéral gauche) pendant l'intégration vision-tactile (Banati, Goerres, Tjoa, Aggleter et Grasby, 2000). Ces aires corticales multimodales postérieures et antérieures sont déjà développées à 6 ans (Gogtay et al, 2004 ; Sowell, Thompson et Toga, 2004 ; Casey, Tottenham, Conor et Durston, 2005). Beauchamp (2005) décrit deux

régions, du cortex occipito-temporal latérale, spécialisées dans l'intégration haptique-vision de formes.

En ce qui concerne l'encodage et le rappel des informations tactiles et visuelles, une étude de Shaw, Kentridge et Aggleton (1990) montre l'importance de la région limbique du lobe temporal pour l'association intermodal (toucher-vision) avec des patients Korsakoff, alcoolique et post encéphalique. Leurs résultats montrent que les transferts intra modaux sont préservés mais pas intermodaux comparés à des sujets contrôles. De même, Lepage, McIntosh et Tulving (2001) ont tester l'encodage et le rappel de formes géométriques en 3D non verbalisables chez des adultes sains, droitiers. Les transferts V-V, T-T, T-V et V-T étaient effectués. Un enregistrement en TEP (tomographie par émission de positron) lors de la phase d'encodage intermodal montre les régions communes à l'encodage d'une information visuelle et haptique (activation du lobe temporal médian droit, du cortex bilatéral préfrontal supérieur et du gyrus bilatéral postérieur inférieur) ; et la reconnaissance intermodal active la région orbito-frontale droite et le gyrus cingulaire antérieur.

Il existe aussi des neurones «multisensoriels» dans le colliculus supérieur qui répondent à des stimuli visuels, auditifs, et tactiles. D'autre part, certains neurones, mis en évidence dans l'aire 6 et le colliculus supérieur, peuvent à la fois être sensoriels ou moteurs (Stein, Meredith, & Wallace, 1994). Les cellules superficielles du colliculus supérieur, qui ont de larges champs récepteurs, s'habituent vite et répondent de préférence au mouvement ; les couches profondes répondent à la fois à des afférences visuelles, auditives et proprioceptives, il y a intégration des cartes sensorielles, motrices et initiation motrice des saccades oculaires vers une stimulation quelle que soit sa modalité. Les propriétés des neurones du colliculus supérieur font que cette aire est considérée comme un centre

important d'intégration multisensorielle (Stein et al, 1994). La comparaison des réponses de ces neurones sous stimulation bimodale ou unimodale montre que l'effet de la stimulation bimodale ne semble pas additif mais multiplicatif: une réponse faible à un stimulus visuel peut être amplifiée jusqu'à 12 fois si elle est déclenchée par un stimulus bimodal visuo-auditif.

Le cortex préfrontal a aussi des connexions réciproques avec toutes les aires impliquées dans le traitement des informations sensorielles. Par ses efférences vers le cortex prémoteur et le striatum, il participe au contrôle moteur. De plus, il est en relation avec des structures impliquées dans la mémorisation (complexe amygdalo-hippocampique, thalamus) et les structures limbiques (ou motivationnelles). Il est en relation avec les aires pariétales (aires 5 et 7) et temporales (aires 21 et 22). Il joue un rôle important dans les processus d'attention au stimulus et dans la mémorisation à court terme de séquences d'événements sensoriels. Il s'agit d'une structure importante dans l'organisation temporelle du comportement appris. Les subdivisions observées dans les aires pariétales postérieures se retrouvent au niveau de la partie de l'aire associative préfrontale qui est spécialisée dans la mémorisation à court terme des cibles spatiales.

En ce qui concerne, la perception de l'espace dans la modalité haptique et visuelle, des études (Graziano & Gross, 1993 ; Wallace, Meredith & Stein, 1992) ont montré que l'aire 7 pariétale postérieure semble liée à la représentation de l'espace. Les neurones de l'aire 7b sont moteurs et somesthésiques. Parmi ceux-ci, certains sont des neurones bimodaux visuo-tactiles qui répondent par exemple à la même localisation spatiale du stimulus. Le sulcus intra pariétal serait impliqué dans le traitement des informations spatiales polymodales comme il a été démontré chez le singe (Anderson, Snyder, Braddly et Xing, 1997) et dans les études de neuro-imagerie chez l'homme (Grefkes et Fink, 2005 ; Kitada et al., 2006). Enfin, Merabet et al (2004) suggèrent que le cortex occipital est

fonctionnellement impliqué dans les tâches tactiles demandant une analyse spatiale fine chez des voyants.

2.1.2) Spécificité des perceptions visuelle et haptique, et représentations spatiales imagées

A) Perception visuelle

La vision est dominante dans l'appréhension de l'espace ainsi que pour la reconnaissance d'objet. Comprendre comment un sujet perçoit visuellement un objet, permet d'appréhender la perception haptique, qui est souvent dirigée par la vision, ainsi que la formation des images mentales.

La perception visuelle est définie comme étant la capacité à recevoir, analyser et interpréter des renseignements visuels en leur donnant un sens et en les comparant à ce qui est déjà en mémoire. Par ses différentes composantes, la perception visuelle permet, d'une part, d'extraire et d'organiser l'information visuelle de notre environnement, et, d'autre part, de comprendre ce que l'œil voit.

L'identification d'un objet commun de notre entourage comme une chaise par exemple, nécessite la reconnaissance d'une configuration particulière (ou pattern). Quand nous reconnaissons un pattern, nous l'associons à une certaine catégorie de notre expérience passée (ici l'ensemble des chaises déjà vues). Les théories de la reconnaissance des patterns supposent l'existence d'un processus d'analyse, dans lequel les systèmes sensoriels décomposent la stimulation en ses éléments, et un processus de synthèse dans lequel les systèmes de niveau supérieur reconstruisent des unités intégrées à partir de ces éléments. Elles supposent aussi que, pour les catégories connues de configurations, les

unités de l'un ou l'autre de ces niveaux accèdent à la mémoire et que l'appariement le plus adéquat en mémoire détermine à quelle catégorie le stimulus est attribué. Dans ces théories, ces processus ne sont pas seulement dirigés par la stimulation sensorielle de façon ascendante, mais reposent aussi sur les connaissances acquises et les attentes actuelles, de façon descendante.

On sait aujourd'hui que les traits spatiaux, extraits en premier lieu des objets par le système visuel, sont constitués d'arêtes orientées. Les théories de la reconnaissance visuelle d'objets supposent que les traits de bas niveau ou primitifs, sont basés sur des arêtes. Selon la théorie la plus connue, celle de Biederman (Biederman, 1987; Hummel & Biederman, 1992), les arêtes sont arrangées spatialement de manière à produire un trait constitutif (feature), c'est-à-dire un volume régulier appelé « géon ». Un petit nombre de géons, disposés de façon appropriée dans l'espace et ayant une taille adéquate, serait suffisant pour composer n'importe quel objet familier. Le processus de reconnaissance de pattern consiste alors, en partie, à extraire les arêtes, déterminer les géons à partir de leur disposition spatiale, combiner ces géons en un objet, et comparer cet objet aux représentations en mémoire correspondant aux catégories d'objets.

B) Perception haptique

L'application de ce modèle à la reconnaissance haptique des patterns semble problématique, car le système haptique est peu performant dans l'extraction de l'information spatiale sur les arêtes. Notons que Lederman et Klatzky (1997) ont fait une distinction entre deux types d'informations : l'information intensive indiquant qu'une arête est présente quelque part sur une surface par ailleurs uniforme, et l'information spatiale qui spécifie la localisation et l'orientation de cette arête. Alors que l'information intensive sur les arêtes est rapidement disponible au toucher, l'information sur les caractéristiques

spatiales est plus difficilement accessible. Par exemple, l'extraction des arêtes à partir d'objets fixés sur un support et ayant une taille supérieure à celle du doigt est un processus lent. Dans l'étude de Klatzky et al. (1993a), les sujets qui suivaient les arêtes de l'objet avec un seul doigt tendu mettaient en moyenne 45 sec pour répondre. Par ailleurs, quand il fallait trouver le meilleur appariement pour des objets plats, la durée moyenne d'exploration était de 11 secondes (Lederman & Klatzky, 1987). Ce temps était passé à suivre le contour avec une main tandis que l'autre maintenait l'objet et lui imprimait des rotations. Ce pattern particulier d'exploration, qui a été nommé « Suivi des contours », s'est avéré être la seule manière de réussir la tâche d'appariement. Ainsi donc, quand il faut extraire une information relativement précise sur les arêtes des objets dont la taille est supérieure à celle de la pulpe du doigt, il n'y a pas de substitut à ce processus lent et séquentiel de suivi des contours par le doigt, processus qui ne garantit pourtant pas un haut niveau d'exactitude.

Une forme peut être étudiée soit d'une façon globale, soit en décomposant les éléments qui la constituent (courbures, angles, etc.). Bien que la discrimination haptique des formes soit nettement moins performante que la discrimination visuelle, il y a une similitude des modes de traitement de la forme dans les deux modalités: mêmes dimensions de différenciation (Pick & Pick, 1966), mêmes effets de la complexité évaluée par le nombre de côtés des formes (Brumaghin & Brown, 1969; Owen & Brown, 1970). Cette similitude est confirmée par Garbin et Bernstein (1984) et Garbin (1990) qui, par des études d'échelonnement multidimensionnel (multidimensional scaling), trouvent que les mêmes attributs des formes (taille, symétrie et complexité) déterminent leur similitude subjective dans la vision et le toucher. Mais seuls 67% des stimulus occupent la même place dans les échelles visuelles et tactiles, chez les adultes comme à 6-7 ans.

Cependant, dans d'autres travaux, des différences avec la vision apparaissent dans le traitement haptique des formes. Ainsi, à cause du caractère séquentiel de l'exploration et de la possibilité de modifier à volonté la taille du champ perceptif tactile, le toucher est moins sensible que la vision aux lois gestaltistes d'organisation de la configuration spatiale (par exemple, Hatwell, Orliaguet, & Brouty, 1990, pour la sensibilité du toucher à la loi de proximité). De même on ne trouve pas, dans la perception haptique des formes, l'effet facilitateur de la symétrie, en particulier vertical, qui apparaît toujours dans la vision (Locher & Wagemans, 1993; Wagemans, 1995; Walk, 1965). Walk (1965) et plus récemment Ballasteros, Manga, & Reales (1997) ont observé que les formes bidimensionnelles non symétriques sont détectées haptiquement plus vite et avec moins d'erreurs. Au contraire, avec des objets tridimensionnels, un avantage des formes symétriques apparaît au toucher comme dans la vision.

C) Représentations spatiales imagées

L'image mentale visuo-spatiale est le résultat d'un travail d'élaboration obtenu à partir d'une grande variété de sources d'information (visuelles, spatiales, tactiles, conceptuelles).

Dans le domaine de la perception visuelle, le traitement se fait selon deux voies anatomiques distinctes mises en évidence chez l'homme (Milner et Goodale, 1995). La voie ventrale (axe occipito-temporal) spécialisée dans le traitement de la forme, des visages et permet l'identification. La voie dorsale (axe occipito-pariétal) spécialisée dans la localisation des objets et l'analyse des attributs spatiaux des scènes perçues. Des études en TEP (Mellet et al., 1996) ont cherché si une telle dichotomie pouvait se retrouver dans le domaine de l'imagerie mentale. Ces études ont montré en effet, que la dichotomie anatomo-fonctionnelle entre la voie dorsale et la voie ventrale en fonction de la nature

spatiale ou figurative de la tâche d'imagerie se superpose à celle mise en évidence dans le domaine de la perception visuelle.

En ce qui concerne l'imagerie motrice, les études en imagerie fonctionnelle montrent que les aires activées au cours du mouvement imaginé se superposent largement à celle activée au cours du mouvement exécuté (Hallett et al., 1994 ; Leonardo et al., 1995 ; Roth et al., 1996 ; Sabbah, 1995).

Si l'on tente de comparer les représentations spatiales selon une exploration visuelle ou haptique, on observe que la vision et l'haptique permettent d'extraire la même information d'un stimulus spatial. En effet, malgré de nombreuses différences entre les deux systèmes, la vision et le toucher sont les seules modalités sensorielles capables de traiter la structure géométrique d'un objet. Des études suggèrent que les caractéristiques des objets visuels et haptiques et leurs représentations spatiales sont similaires (Heller et al, 2002 ; Loomis, 1982 ; Newell et al, 2005). Les données neurophysiologiques (Hadjkhani, 1998 ; Grefkes, 2002 ; Ricciardi, 2006 ; Saito, 2003) montrent que les aires corticales dévolues aux processus de traitement de l'information spatiale visuelle et haptique se recouvrent partiellement. Les informations des objets/formes provenant du canal perceptif visuel et haptique convergent préférentiellement dans le cortex bilatéral occipito-temporal, le cortex pariétal et l'insula droit (Amedi et al, 2001 ; Grefkes et al, 2002 ; Hadjkhani et al, 1998 ; Saito et al, 2003). Le sulcus intra-pariétal et le cortex-occipito-temporal semblent impliqués spécifiquement dans l'analyse des formes spatiales et de la reconnaissance (Stoesz et al, 2003 ; Prather et al, 2004), alors que la région de l'insula semble impliquée pour le transfert et/ou la fixation des informations unimodales (Amedi et al, 2005 ; Thesen et al, 2004). L'hypothèse, avancée par Lederman, Summers et Klatzky (1996), pour expliquer le recouvrement de l'activation des aires corticales observé lors d'une tâche spatiale dans la modalité visuelle et haptique serait peut-être dû au fait que l'exploration

haptique active la représentation visuelle correspondante. L'imagerie visuelle pourrait être médiateur des processus haptiques pour certaines caractéristiques du stimulus comme l'orientation, la forme et la taille (Deibert et al, 1999 ; Sathian et al, 1997). Cette hypothèse de la « médiation visuelle » a été confirmée par la neuro-imagerie, montrant qu'une aire spécifique du cortex extra-strié, le complexe latéral occipital, est activée quand les sujets explorent une série d'objets visuellement ou haptiquement, mais pas lorsque le même objet est simplement imaginé, ou qu'il est reconnu à l'aide d'un son associé (Amedi et al, 2001, 2002).

Un ensemble important de situations repose sur la présentation tactile manuelle d'une tâche dans laquelle le sujet doit engendrer une représentation ayant la propriété des images mentales visuo-spatiales. Par exemple, plusieurs auteurs (Carreiras & Codina, 1992; Kerr, 1983; Klatzky, Golledge, Loomis, Cicinelli, & Pellegrino, 1995) ont observé que les aveugles et les voyants possèdent une capacité égale de se représenter les objets à travers la perception tactile. L'élaboration de « cartes » mentales et l'orientation dans l'espace semblent liées à la capacité de générer et d'utiliser des images mentales.

En résumé, nous avons vu que la modalité haptique présente les mêmes compétences que la modalité visuelle pour percevoir une forme à caractère spatiale. De plus, l'image mentale générée par une perception haptique ou visuelle semble avoir les mêmes caractéristiques et avoir un même substrat neuro-anatomique. Toutefois, nous avons vu que la modalité visuelle est dominante pour l'extraction d'informations à caractère spatial et qu'elle est plus rapide car un traitement simultané est effectué, alors que la modalité haptique ne peut être que séquentielle et prend donc plus de temps, traitement plus coûteux en mémoire de travail.

Nous allons observer dans notre population d'enfants présentant des troubles des apprentissages ceux qui ont des troubles de perceptions visuelles visuo-spatiaux. Leur difficultés se répercute-t-elles dans la perception haptique ou au contraire, l'image mentale émergeant de cette exploration est-elle correcte ?

2.1.3) Caractéristiques du transfert entre le toucher et la vision

Dans la plupart des situations de la vie quotidienne, vision et toucher fonctionnent simultanément. On peut se demander comment s'effectue la distribution des tâches, si l'exploration manuelle apporte des données supplémentaires à la vision, et si la redondance des informations visuelles et haptiques constitue une protection contre les erreurs perceptives.

De nombreux travaux montrent que lorsque la vision permet d'accéder à l'information sur les propriétés géométriques (taille, forme, etc.), le système haptique n'est pas spontanément mis en œuvre. La main n'a alors qu'une fonction de saisie et de transport de l'objet pour présenter toutes ses faces à l'œil (Abravanel, 1972, 1973 ; Hatwell, 1986, 1987). Ceci est vrai chez l'enfant et chez l'adulte quand le test qui suit la présentation du stimulus est visuel. Quand ce test est tactile, les enfants continuent à n'explorer que visuellement, tandis que les adultes explorent aussi manuellement l'objet et lui appliquent les procédures exploratoires adéquates. Ces observations font ressortir le caractère dominant de la vision dans le domaine spatial. En effet, lorsqu'il s'agit des propriétés géométriques, les capacités discriminatives haptiques spatiales sont souvent inférieures à celles de la vision. On observe alors que les performances intramodales sont supérieures aux performances intermodales de la modalité la moins efficace, à savoir la modalité haptique (Garbin, 1988; Hatwell, 1986 ; Streri, 1987 ; Rose et Orlian, 1991 ; Streri et Gentaz, 2003, 2004)). Dans beaucoup d'études sur les propriétés spatiales, le transfert est

mieux réussi dans le sens Haptique-Vision que dans le sens Vision-Haptique, chez l'enfant et chez l'adulte (Jones & Connolly, 1970; Jones, 1981; Juurmaa & Lehtinen-Railo, 1994; Newham & McKenzie, 1993; Hatwell, 1986, 1994). Par ailleurs, quand les performances intramodales spatiales visuelles et haptiques sont comparables, on trouve parfois qu'il n'y a pas de différence entre les conditions intra- et intermodales (Garbin, 1988; Garvill & Molander, 1973) mais, le plus souvent, est observée une supériorité des performances intramodales sur les performances intermodales (Connolly & Jones, 1970; Jones & Connolly, 1970; Milewski & Laccino, 1982; Newell, Shapiro, & Carlton, 1979 ; Streri, 1987 ; Rose et Orlian, 1991). Par contre, lorsque le transfert porte sur la texture, pour laquelle le toucher est aussi performant (sinon plus) que la vision, cette asymétrie n'apparaît pas (Molina et Jouen, 1998, 2001 ; Sann et Streri, 2007).

Cette asymétrie du transfert Toucher-Vision a été interprétée comme montrant l'existence d'un traitement spécifique du type « recodage » (Connolly & Jones, 1970; Hatwell, 1994) pour faire circuler l'information entre modalités. Tout se passe comme si le passage de l'information de la modalité dominante à la modalité mineure (ici, de V à T) nécessitait un traitement spécifique permettant de passer d'un code à l'autre. Les prédictions issues de ce modèle offrent une hypothèse précise sur le moment où se situe l'opération de « traduction » intermodale des données. Pour Connolly et Jones, la nécessité d'effectuer cette traduction va de soi et n'est même pas discutée. Seule est étudiée sa place car, selon qu'elle a lieu avant ou après le stockage en mémoire de l'information initiale sur le modèle, les propriétés attendues des performances intermodales ne seront pas les mêmes. L'hypothèse est que ce recodage a lieu juste après la réception sensorielle, et avant la mise en mémoire à court terme. L'information perceptive venant d'une modalité X de présentation est traduite dans la modalité Y de la réponse dès son entrée dans le système et est conservée dans le « magasin » de mémoire à court terme spécifique à la modalité Y.

Cette trace a alors les mêmes propriétés et est soumise aux mêmes lois de déclin qu'une trace issue d'une perception arrivant directement sur la modalité Y. Connolly et Jones postulent donc ici non seulement que les informations perceptives sont spécifiques à chaque modalité et doivent être traduites, mais aussi que les « magasins » de mémoire à court terme sont également spécifiques à chaque modalité.

Or, la mémoire tactilo-kinesthésique est plus labile et plus instable que la mémoire visuelle. La trace tactile issue de la traduction en condition V-T étant moins bien conservée que la trace visuelle de la traduction en condition T-V, les performances V-T devront donc être inférieure aux performances T-V.

Si ce raisonnement est exact, et si par ailleurs les performances V-V et T-T sont égales, on doit aussi trouver que c'est la modalité de la réponse qui détermine le niveau des performances, et non la modalité de présentation du stimulus, ni le fait que les tâches soient intra ou intermodales. Ainsi, les conditions V-V et T-V ne devront pas être différentes car elles traitent une même information conservée par une même trace visuelle, et les conditions T-T et V-T ne devront pas non plus différer, car elles traitent les mêmes traces tactiles.

Comme nous venons de le voir, les modalités visuelles et haptique fonctionnent donc de manière similaire pour détecter des invariants de forme, texture, etc., condition nécessaire pour obtenir une unité primitive des sens. Cependant, chaque système possède ses contraintes propres, biologiques ou comportementales, qui lui confèrent une spécificité et qui limitent les possibilités d'échanges d'information entre modalités sensorielles. Les formes de relations intermodales examinées révèlent des conduites précoces d'intégration entre modalités. Ces conduites d'intégration, dont la base neurologique commence à être connue (Stein et al, 1994 ; Amedi et al, 2001; Gogtay et al, 2004), évoluent en fonction des

contraintes biologiques et fonctionnelles de chaque système. Notamment, les vitesses de maturation non synchrones des systèmes perceptifs sont une des causes possibles des asymétries de transferts intermodaux observées au cours de la première année. Le transfert ne peut s'expliquer par une perception amodale, comme le suggérait Gibson, mais il reste à déterminer le médiateur ou le mode de codage autre que symbolique (linguistique ou imagé) qui constituerait le lien entre les deux modalités. Si l'unité des sens est une donnée primitive du nouveau-né, elle n'est pas une donnée immuable.

Des fluctuations de performances sont observées au cours du développement, qui suggèrent l'hypothèse d'une construction lente et complexe nécessitant une stimulation extérieure et des expérimentations de la part du bébé puis de l'enfant.

2.2) Développement du transfert intermodal

Nous allons décrire uniquement le développement du transfert intermodal entre le toucher et la vision dans la mesure où notre travail s'intéresse aux capacités de transfert intermodal toucher-vision dans les troubles des apprentissages et chez des enfants tout-venant de 4 à 8 ans.

Les relations entre modalités sensorielles sont une nécessité adaptative de l'organisme afin que les événements perçus par le bébé revêtent l'unité ou la cohérence nécessaire au développement de son intelligence du monde. Le coût cognitif du transfert intermodal est important et rend fragile la relation, du fait des contraintes spécifiques de chaque système en jeu, et notamment de la complexité du système haptique au cours du développement (Hatwell, Streri, Gentaz, 2000). Les recherches sur la perception du bébé ont révélé que, dès la naissance, il est capable de discriminer, au sein d'une même modalité, différents stimuli. Cette capacité à détecter des invariants présents dans

l'environnement est le processus de base des relations entre modalités sensorielles. Les connaissances actuelles sur les processus intermodaux chez le bébé à la naissance suggèrent qu'il existe des éléments pré-requis lui permettant d'établir à la fois une unité du monde et de son corps.

La discrimination tactile est importante dans plusieurs aspects du développement de l'enfant. Elle lui permet une bonne exploration de l'objet et de l'environnement, car les indices amenés par le sens du toucher élargissent sa compréhension de ce qui l'entoure. Elle contribue également à enrichir sa conscience corporelle et, par le fait même, à influencer ses habiletés de planification motrice. Enfin, la discrimination tactile est en lien direct avec le développement de sa motricité fine et avec l'habileté à manipuler efficacement des objets dans la main.

Nous allons voir que le transfert toucher-vision est possible dès la naissance (Streri et al, 2000 ; Streri et Gentaz, 2003, 2004) mais sous certaine condition et qu'il se montre très fragile. Puis il évolue avec l'âge et nécessite par la suite des capacités cognitives qui dépassent les modalités haptique et visuelle puisqu'il est corrélé avec l'efficience intellectuelle (Rose et al, 1998).

2.2.1) Chez le bébé

L'être humain dispose d'une sensibilité tactile dès les premières semaines de vie fœtale. Les recherches sur la sensibilité somesthésique révèlent que le jeune bébé est capable de recevoir une information et d'y réagir en dépit de la faible spécificité des récepteurs.

La coordination des informations de forme entre les modalités visuelle et tactile a été étudiée chez les nouveau-nés. Streri, Lhote et Dutilleul (2000) ont montré, dans une tâche intramodal, que les nouveau-nés étaient capables de détecter des différences dans le

contour de deux petits objets (un cylindre et un prisme), aussi bien de la main droite que de la main gauche, dans une procédure d'habituation et de réaction à la nouveauté. L'équivalence des capacités intramodales constitue un pré-requis pour obtenir un transfert réversible entre le toucher et la vision. Par la suite, Streri et Gentaz (2003, 2004) et plus récemment par Sann et Streri (2007) ont observé que les nouveau-nés peuvent reconnaître visuellement la forme d'un objet qu'ils ont préalablement touché avec leur main droite (transfert intermodal par une procédure d'habituation)¹.

Ce transfert de la modalité haptique à la modalité visuelle a été également observé chez des bébés de 2 mois (Streri, 1987) et de 12 mois (Rose et Orlan, 1991). En revanche, le transfert V-T dans ces études n'est pas observé à la naissance ni à 2 mois, et il s'avère encore difficile à 12 mois. Plus précisément, Rose et Orlan (1991) comparent les performances intramodales visuelle (V-V) et tactiles (T-T) aux tâches intermodales (V-T) et (T-V) chez des bébés âgés de 12 mois. Les durées de familiarisation dans cette étude sont de 15, 30 ou 60 secondes selon les groupes. Les résultats révèlent que la condition V-V est la plus facile, quelle que soit la durée de familiarisation, alors que les conditions T-T et T-V sont intermédiaires puisqu'une reconnaissance n'est obtenue qu'après 30 et 60 secondes seulement et non après 15 secondes de familiarisation. Par contre, les enfants échouent à reconnaître tactilement des objets préalablement regardés, quelle que soit la durée de familiarisation. Ces résultats rappellent ceux évoqués chez les bébés de 2 mois, mais Rose et Orlan (1991) proposent une autre interprétation et expliquent l'échec au

¹ [La procédure d'habituation/déshabituation, réalisée sans contrôle visuel, est une méthode efficace pour révéler ces capacités perceptives manuelles des bébés. L'espace tactile est séparé de l'espace visuel par un écran souple. Ce dispositif permet au bébé d'explorer librement les objets tenus dans ses mains sans qu'il puisse les voir. L'expérimentateur pose dans la main du bébé un objet et enregistre la durée de tenue. Si les durées diminuent en fonction de la présentation répétée de l'objet, on observe une habituation. Lorsque le critère d'habituation, fixé par l'expérimentateur, est atteint, la phase test commence et un nouvel objet est présenté au bébé. L'augmentation de la durée de tenue du nouvel objet signifie que le bébé détecte un changement et différencie les deux objets. Cette procédure, contrôlée par l'enfant, est très efficace pour attester des capacités de discrimination des jeunes bébés. Chez les bébés plus âgés, la phase d'habituation est souvent remplacée par une phase de familiarisation d'une durée fixe afin de tester la rapidité d'encodage et de traitement des informations. C'est cette procédure que nous allons utiliser pour nos enfants de 4 à 11 ans.]

transfert V-T comme étant imputable à une différence dans la prise d'information sur les caractéristiques des objets par les deux modalités (Rose, 1994). Cependant, après 45 secondes de familiarisation, les bébés âgés de 12 mois peuvent reconnaître visuellement dans un objet, une photo et une esquisse, l'objet qu'ils ont préalablement tenu (Rose, Gottfried, & Bridger, 1983). C'est sur l'abstraction du contour des objets, donc d'un invariant, que le transfert entre les deux modalités s'établit.

Quelles que soient les méthodes utilisées, la relation vision-toucher s'effectue mal à deux mois tandis que la relation toucher-vision est plus claire. En effet, pour qu'un transfert s'établisse, il faut que les percepts (les niveaux de représentations) des objets regardés et manipulés puissent être analogues pour que l'un ou l'autre des systèmes puissent efficacement l'utiliser. Or le système tactile et le système visuel, ne se développent pas à la même vitesse au cours du développement. Si la sensibilité somesthésique est la plus primitive sur le plan ontogénétique et ceci dès le stade fœtal, la vision, par contre, est plus tardive à fonctionner et ne réalise pleinement sa fonction qu'à la naissance. Cependant, après la naissance, les vitesses de développement des deux systèmes ne sont pas non plus synchrones au cours des premiers mois de la vie. L'habileté des doigts du bébé à réaliser des manipulations fines est insuffisante et perturbe provisoirement la prise d'information sur les objets ; tandis qu'à la naissance et à deux mois, le regard du bébé peut capter déjà de manière globale, bien que floue, la forme des objets.

De plus la présentation d'objets de différentes formes ne déclenche pas une activité exploratoire suffisante pour permettre au bébé d'avoir une représentation claire de ce qu'il tient dans la main. Vraisemblablement, la perception des formes est globale ou limitée à la détection d'indices tels que des pointes, des rondeurs, la présence d'un trou, etc. En effet, les formes, curvilignes ou rectilignes, pleines ou percées d'un trou, sont bien différenciées

dès deux mois (Streri, 1987; Streri et Milhet, 1988). A cet âge également, le bébé est capable de distinguer un objet volumétrique, en forme de bobine de fil, d'une croix (Streri & Molina, 1993).

Les échecs dans les perceptions intersensorielles sont fréquents et dépendent de nombreux facteurs. Streri (1991) a résumé les recherches sur les tâches de transfert intermodal entre le toucher (oral ou manuel) et visuel. Cette revue révèle que les succès de l'intégration sensorielle dépendent des propriétés des objets (forme, texture, substance...), du type de tâche (situation de conflit perceptif ou transfert intermodal), de la durée de familiarisation, de la modalité de familiarisation (visuel, oral ou manuel) et de l'âge. Par exemple, Rose, Gottfried et Bridger (1981) échouent à montrer un transfert intermodal de forme à 6 mois après 30 et 60 secondes de familiarisation oral alors qu'au même âge Ruff et Kohler (1978) montrent une reconnaissance visuelle (sphère et cube) après 30 secondes d'une familiarisation tactile. Ou encore, il est possible d'obtenir un transfert vision-toucher si l'information visuelle présentée au bébé est dégradée. En effet, si à l'âge de deux mois, on présente au bébé une stimulation visuelle appauvrie, c'est à dire réduite à une esquisse dont le contour est souligné, la main parvient alors à reconnaître dans l'objet tenu des éléments de la stimulation perçue visuellement (Streri et Molina, 1993, 1994). Tant que le traitement de l'information n'est pas suffisamment réalisé par l'une ou l'autre des modalités sensorielles, l'appariement et l'identification de l'objet ne peuvent s'effectuer.

2.2.2) Evolution chez l'enfant

L'exploration manuelle ainsi que la discrimination tactile sont donc possibles chez les jeunes nourrissons. A partir du deuxième semestre de la vie et jusque vers 3-4 ans, le fonctionnement tactile intramodal devient difficile à étudier parce que les enfants

supportent difficilement qu'un écran les empêche de voir ce qu'ils manipulent. Nous manquons ainsi de données sur l'évolution de l'exploration manuelle pendant cette période. Toutefois, Bigelow (1981) montre que des enfants de 2 ans et demi sont capable de dénommer 5 à 7 objets familiers qu'ils ont tenus sans pouvoir les regarder.

Les capacités de transfert intermodal H-V et V-H augmentent avec l'âge chez l'enfant (Stilwell et Cermak, 1995). A 5 ans, la reconnaissance intermodale est presque parfaite pour des objets familiers mais moins exacts pour des objets non-familiers ou des formes abstraites (Buschnell et Baxt, 1999).

Les régions extrêmement sensibles que sont les bouts des doigts ont des surfaces très réduites, et la perception tactile d'une forme suppose donc le déplacement des récepteurs à sa surface pour une exploration exhaustive. Mais ce ne sont pas des stimulations qui guident ces déplacements, comme un stimulus visuel périphérique appelle la fovéalisation ; la recherche est active, déterminée par des mécanismes cognitifs, en particulier la représentation que le sujet a des informations à rechercher. Toutes les études développementales de l'exploration tactile montrent que plus les enfants sont jeunes, plus leur exploration est aléatoire et limitée, à la mesure de la pauvreté de leurs schèmes représentatifs. Piaget et Inhelder (1947), dans un chapitre sur la perception stéréognosique d'objets et de formes, décrivent une exploration manuelle partielle, peu active, stéréotypée et inadaptée à la tâche, exploration qui s'organise à partir de 6 ans environ, parallèlement aux coordinations opératoires. Des chercheurs russes (Zinchenko & Lomov, 1960 ; Zaporozhets, 1965) ont montré sur des enregistrements cinématographiques les stratégies décrites par Piaget et Inhelder, aussi bien pour l'exploration tactile que pour l'exploration visuelle, et les mettent en relation avec les performances perceptives. On observe donc un développement des procédures exploratoires en modalité haptique. En effet, pour avoir une bonne représentation des objets, le suivi de contour est important et il est possible que les

enfants ne montrant pas cette procédure n'arrivent pas à avoir une bonne représentation de la forme.

D'importantes différences interindividuelles étant observées chez les nourrissons dans le transfert intermodal, Rose, Feldman, Futterweit, et Jankowski (1998) se sont demandés si ces différences persistent dans le temps et sont corrélées avec les performances intermodales mesurées quelques années plus tard. Un groupe de 90 enfants a donc été suivi de 7 mois à 6 ans, puis a été testé encore à 11 ans, dans des tâches spatiales de transfert toucher-vision (T-V), de transfert audition-vision et vision-audition, ainsi que dans des mesures du QI (Echelle de Bayley à 24 mois, WISC-R à 6 et 11 ans), et des aptitudes spatiales. Il s'agit de savoir si les capacités intermodales sont générales ou spécifiques à certaines modalités. Les résultats montrent une certaine stabilité avec l'âge des scores intermodaux H-V lorsque les objets ont été explorés de la main gauche ($r = .34$ entre la première enfance et 11 ans) mais non de la main droite. Une corrélation « modeste » mais significative (proche de .35) apparaît avec le QI, mais il n'y a pas de corrélation entre les tâches intermodales H-V et celles impliquant la vision et l'audition. La continuité des capacités intermodales avec l'âge est donc spécifique aux modalités tactile et visuelle. Quant à la corrélation avec le QI, elle ne peut, selon les auteurs, être imputée à des aptitudes spatiales car elle se maintient même si on neutralise ce facteur spatial. Sans que l'on sache encore pourquoi, les différences interindividuelles de la première enfance prédisent donc un peu celles qu'on observera plus tard.

Une étude récente (Giannopulu, Cusin, Escalona et Dellatollas, 2007) effectuée sur deux échantillons (534 et 750) d'enfants de 6 ans a observé une corrélation positive entre une tâche intermodale bimanuelle H-V de reconnaissance de 5 objets familiers et trois tâches cognitives (une tâche de conscience phonologique, une tâche de compréhension orale et la reproduction de 6 figures). Les auteurs ont observé également une

reconnaissance parfaite des 5 objets dans 62% et 70,8% (dans les deux échantillons respectivement) comme l'avait montré Bushnell et Baxt (1999).

On a cru longtemps que les capacités de transfert intermodal s'amélioreraient avec l'âge sous l'effet de l'expérience bimodale et du développement du langage (Birch et Lefford, 1963; Hatwell, 1994). Ce point de vue découlait des options théoriques alors dominantes (hypothèse d'une séparation radicale des modalités à la naissance et de leur fusion progressive avec l'exercice). Des travaux expérimentaux ont montré effectivement que le pourcentage de réponses correctes dans les appariements intermodaux toucher-vision et vision-toucher augmentait avec l'âge. Mais les critiques méthodologiques de Bryant (Bryant, 1974; Bryant, Jones, Claxton, & Perkins, 1968) ont disqualifié ces recherches (celle de Birch & Lefford, 1963, et bien d'autres qui l'ont précédée ou suivie) qui n'ont pas inclus dans leur plan expérimental les indispensables conditions contrôles intramodales toucher-toucher et vision-vision.

Lorsqu'on procède à ces contrôles, on trouve généralement que l'amélioration des performances intermodales peut être entièrement expliquée par l'amélioration concomitante des performances intramodales (Abravanel, 1981; Hatwell, 1986; Jones, 1981; Juurmaa & Lehtinen-Railo, 1994). Une recherche a mis en évidence un réel progrès intermodal avec l'âge, mais l'étude ne portait que sur des enfants de 5 et 7 ans (Stoltz-Loike & Bornstein, 1987).

L'ensemble de ces observations suggère que la reconnaissance intermodale Haptique-Vision peut-être une mesure intéressante pour appréhender les troubles des apprentissages et qu'elle peut être corrélée avec des performances cognitives diverses langagières et non-langagières. C'est ce que nous projetons d'étudier dans ce travail.

2.2.3) Difficultés d'intégration sensorielle selon différentes pathologies

La fragilité du transfert intermodal décrit chez le bébé apparaît aussi dans les études qui examinent des enfants prématurés. Rose, Gottfried, et Bridger (1978) ont étudié l'influence des facteurs sociaux et biologiques sur le transfert intermodal de bébés de 12 mois nés prématurément (à la naissance, l'âge gestationnel était de 32,6 semaines, le poids de 1650 g) ou nés à terme, mais issus d'un milieu socio-économique bas. Les auteurs ont repris les trois tâches de transfert déjà évoquées (H-V, A-V et V-A) pour une durée de familiarisation haptique de 30 secondes. Aucun transfert intermodal n'a pu être obtenu, contrairement aux expériences réalisées au même âge sur des bébés issus d'un milieu socio-économique moyen. Mais le fait que le transfert intermodal soit sensible à des facteurs cliniques ou dépend de la vitesse de traitement de l'information questionne sa stabilité chez l'enfant plus âgé.

La fragilité du transfert intermodal apparaît également dans les retards mentaux. Davidson, Pine et Wiles-Kettenmann (1980) ont exploré les capacités de transfert H-V de formes chez des enfants présentant divers degrés de déficiences. Leurs résultats montrent que les difficultés relèvent de troubles d'attention visuelle et d'une faible capacité exploratoire qui gêne le transfert. En revanche, une simplification des stimuli permet d'observer des performances équivalentes à des sujets normaux.

En ce qui concerne les troubles des apprentissages, peu d'études ont testé les capacités de transfert intermodal toucher-vision. Une étude de Kamhi (1981) rapporte que la reconnaissance haptique-vision était la seule tâche montrant une différence significative entre des enfants présentant un développement du langage déficient et normal, à l'aide d'une batterie de test explorant les capacités non-linguistiques. Kamhi suppose qu'il s'agit d'un trouble de la représentation symbolique (trouble du langage) et non du transfert intermodal lui-même. Une autre étude (Montgomery, 1993) portant sur des enfants de 5 à 7

ans avec ou sans trouble du langage testait une tâche inter et une tâche intramodale toucher-vision. Cette étude montre que les sujets présentant un trouble du langage ont des capacités de traitement et de transfert des données limitées. En revanche, ils ont les mêmes capacités d'imagerie mentale que les témoins et la reconnaissance haptique elle-même était normale.

Nous avons vu également, dans la première partie, qu'un déficit du processus intermodal semble exister dans la dyslexie développementale (Klingberg et al, 2000 ; Virsu, Lahti-Nuuttila, & Laasonen, 2003) et qu'un processus d'intégration sensorielle plus global se révèle dans la dyspraxie.

Conclusion

Les données de la littérature nous montrent que chaque trouble d'apprentissage (dyslexie, dysphasie, dyspraxie) a sa ou ses spécificité(s) avec des degrés de sévérité et des formes diverses d'un enfant à l'autre. Nous avons vu, que les enfants dyslexiques présentent un trouble du langage écrit avec majoritairement un trouble phonologique; pour les enfants dysphasiques, un trouble du langage oral sur le versant expressif et/ou réceptif ; et pour les enfants dyspraxiques, des troubles du geste et/ou des troubles visuo-perceptifs et visuo-constructifs. Par ailleurs, les théories qui tendent à expliquer les mécanismes de ces pathologies sont diverses et inspirent des approches rééducatives différentes. Notamment, nous avons vu que la modalité haptique était souvent utilisée dans la rééducation des troubles de la dyslexie, dysphasie et dyspraxie. Toutefois, les capacités d'intégration sensorielle entre le toucher et la vision a très peu été étudié dans les troubles des apprentissages. L'objectif général de cette thèse est donc d'étudier les capacités d'intégration sensorielle entre le toucher et la vision chez des enfants présentant des troubles des apprentissages.

PARTIE EXPERIMENTALE

Nous avons réalisé trois études expérimentales pour répondre à nos questions. La première étude concerne l'évaluation neuropsychologique de 44 enfants présentant des troubles des apprentissages. Ces enfants ont été observés dans l'Unité de Rééducation Neurologique Infantile au C.H.U de Bicêtre, dirigée par le Dr Billard. Cette évaluation teste l'efficacité intellectuelle, les capacités mnésiques et visuo-spatiales d'enfants dyslexiques, dysphasiques et dyspraxiques. Cette première étude permettra de décrire le profil cognitif des enfants de notre échantillon et contribuera à l'interprétation de leurs performances aux tâches de transfert intra et intermodal que nous avons réalisées.

Les deuxième et troisième études abordent les capacités de transfert intramodal Toucher-Toucher, et intermodal Toucher-Vision et Vision-Toucher. Pour ces deux études, nous avons construit un matériel qui comporte des formes tactiles en bois pour l'exploration haptique et leurs représentations visuelles pour l'exploration visuelle. Une première série de stimuli constituée de formes géométriques simples permettra d'observer le transfert intermodal d'un objet à caractère spatial et d'opérer un apprentissage pour la deuxième série. La deuxième série de stimuli propose des combinaisons de deux formes (celles utilisées dans la première série) positionné dans un rapport topologique défini. Cette deuxième série a été créée pour évaluer les capacités de transfert d'un rapport topologique, d'une orientation (la présentation du matériel est détaillée dans l'étude 2).

La deuxième étude porte sur 80 enfants tout-venant âgés de 4 à 8 ans. Cette étude permettra de nous renseigner sur l'âge auquel les enfants sont capables d'effectuer un transfert de formes géométriques simples et de rapport topologique. Ce groupe d'enfants tout-venant servira de témoins pour nos enfants présentant un trouble des apprentissages.

De plus, nous avons vu dans la partie 2.2.2 que peu d'études avaient observé l'évolution du transfert intermodal chez l'enfant.

La troisième étude porte sur les 44 enfants présentant un trouble des apprentissages évalués dans l'étude 1. L'objectif est d'observer, dans un premier temps, les capacités de transfert intermodal. Y a-t-il ou non un trouble d'intégration sensorielle entre le toucher et la vision dans les troubles des apprentissages ? Et dans un deuxième temps, d'analyser plus spécifiquement les capacités de transfert des orientations chez des enfants dyslexiques afin de voir s'il existe des difficultés de repérage d'orientations dans la modalité haptique.

Dans une dernière partie, nous analyserons les corrélations entre les épreuves neuropsychologiques et les capacités de transfert intra et intermodal. L'épreuve de transfert intermodal faisant appel à de nombreux processus cognitifs, ces corrélations participeront à la compréhension des performances au transfert intermodal selon les troubles des enfants.

Expérience 1 : Evaluation neuropsychologique des enfants présentant des troubles des apprentissages

1. Introduction

Dans la première partie de notre revue de littérature, nous avons décrit trois pathologies : la dyslexie, la dysphasie et la dyspraxie. De façon résumé, nous avons vu que les enfants dyslexiques présentent un trouble du langage écrit ; les enfants dysphasiques, un trouble du langage oral sur le versant expressif et/ou réceptif ; et les enfants dyspraxiques, des troubles praxiques gestuelles et/ou visuo-spatiaux et visuo-constructifs. Dans cette étude, nous allons effectuer une évaluation cognitive d'enfants présentant ces pathologies. Les enfants dont nous allons présenter les résultats ont été regroupés après le diagnostic final effectué dans le service. Nous nous attendons donc à observer les troubles de chaque pathologie décrit dans les nomenclatures et les descriptions neuropsychologiques. Par ailleurs, cette étude va nous permettre d'observer les difficultés communes, ce qui est rarement décrit dans la littérature.

En dehors de ces observations que nous pourrons faire, l'objectif de cette évaluation neuropsychologique est de définir les troubles des enfants de notre échantillon et de tester les compétences cognitives requises pour effectuer un transfert intermodal de forme géométrique et de rapport topologique. Pour cela nous allons évaluer :

- 1) L'efficacité intellectuelle qui permet d'exclure un retard global et donne un profil

typique selon les pathologies ; 2) La mémoire de travail auditivo-verbale souvent décrite comme déficitaire dans la dyslexie (Plaza, 2001) ; 3) La mémoire de travail visuo-spatiale, nécessaire pour permettre, lors du transfert intermodal, un maintien en mémoire des formes pour la comparaison en phase test ; 4) Le traitement séquentiel car l'exploration haptique est un processus majoritairement séquentiel ; 5) L'intégration visuelle parce qu'à la suite de l'exploration haptique séquentielle, l'enfant doit être capable d'intégrer ces informations partielles en un tout, et se constituer une image mentale afin de pouvoir reconnaître visuellement cet objet ; 6) Et, la perception visuelle d'orientation, puisque nous avons choisi, dans notre deuxième série de stimuli, des formes combinées dans un rapport topologique impliquant la prise en compte de l'orientation des deux formes.

Nous prendrons en compte également une épreuve de lecture et de dénomination effectuée par les orthophonistes lors des évaluations d'entrée à l'Unité. Ces deux épreuves sont sélectionnées car elles définissent les troubles des apprentissages. De plus, nous souhaitons regarder si les performances en lecture peuvent être corrélées avec les capacités de transfert intermodal.

2. Méthode

2.1 Participants

Nous avons sélectionné un échantillon de 44 enfants scolarisés dans l'Unité de Rééducation Neurologique Infantile du Kremlin-Bicêtre en raison de difficultés d'apprentissage. Les diagnostics de dyslexie, dysphasie et dyspraxie ont été posés par les médecins à la suite des différents bilans effectués dans l'unité (en neuropédiatrie, orthophonie, ergothérapie, psychomotricité et neuropsychologie). Aucun ne présente de

troubles neurologiques ou de lésions cérébrales à l'exception d'un enfant dysphasique. Cette petite fille a présenté une épilepsie (syndrome de Landau-Kleffner) à l'âge de 2 ans et demi, mais au moment de l'évaluation, elle était stabilisée et ne prenait plus de traitement depuis 3 ans. C'est pourquoi elle a été incluse dans notre étude. Tous ces enfants ont également bénéficié d'un audiogramme qui est normal et leur acuité visuelle était normale ou corrigée.

La scolarité qui leur est proposée est adaptée dans des classes de faible effectif (6 enfants) et ils suivent en parallèle une rééducation intensive (45 minutes d'orthophonie 4 à 5 fois/semaine, ergothérapie et psychomotricité selon la pathologie).

Les enfants de notre échantillon sont répartis comme suit en fonction de leur pathologie :

- 27 enfants dyslexiques âgés de 8 ans 8 mois à 12 ans 1 mois (moyenne = 9 ans 11 mois), 24 garçons et 3 filles ;
- 8 enfants dysphasiques âgés de 7 ans à 11 ans 6 mois (moyenne = 7 ans 9 mois), 4 garçons et 4 filles ; et
- 9 enfants dyspraxiques âgés de 6 ans 7 mois à 11 ans 7 mois (moyenne = 9 ans 6 mois), 7 garçons et 2 filles.

2.2. Epreuves neuropsychologiques

2.2.1) Evaluation de l'efficiency intellectuelle à l'aide de l'échelle d'intelligence de Wechsler pour les enfants (WISC-III).

L'échelle du WISC-III est destinée aux enfants de 6 à 17 ans. Elle se divise en deux parties, une échelle verbale et une échelle performance. Elle comprend 13 subtests répartis

dans ces deux échelles et administrés alternativement. Ces subtests sont détaillés en Annexe A.

L'Echelle Verbale est composée des six subtests : Informations, Similitudes, Arithmétique, Vocabulaire, Compréhension et Mémoire des chiffres.

Ces épreuves permettent de calculer plusieurs scores, le QI Verbal (à partir des subtests : Informations, Similitudes, Arithmétique, Vocabulaire et Compréhension), et l'indice de Compréhension Verbale (à partir des subtests : Informations, Similitudes, Vocabulaire et Compréhension).

Parallèlement, l'échelle de Performance comprend les sept subtests suivants : Complètement d'images, Code, Arrangement d'images, Cubes, Assemblage d'objets, Symboles et Labyrinthes. La particularité de ces épreuves repose sur la limitation de temps de réalisation, l'ensemble des subtests Performance étant chronométré.

Comme précédemment, il est possible de calculer le QI Performance (Complètement d'images, Code, Arrangement d'images, Cubes et Assemblages d'objets), l'indice d'Organisation Perceptive (Complètement d'images, Arrangement d'images, Cubes et Assemblages d'objets) et l'indice Vitesse de Traitement (Code et Symboles).

Les scores composites (QI, Indice) servent à résumer l'ensemble des subtests en domaine : Verbal, Perceptif, Vitesse de traitement. Dans notre étude, nous ne parlons pas du QI Total car les enfants ayant des troubles des apprentissages ont des performances abaissées selon la spécificité de leur trouble à l'échelle Verbale ou à l'échelle Performance. Il est donc important de dissocier ces compétences. Pour parler de trouble spécifique des apprentissages, il faut que l'enfant montre des compétences normales (QI > ou = à 80) à l'une des deux échelles.

Les scores obtenus au WISC-III ont fait l'objet d'une normalisation : la moyenne pour chaque QI et Indice est de 100 (écart type de 15) et la moyenne pour chaque subtest est de 10 (écart type de 3).

2.2.2) Evaluation des processus mnésiques

Processus séquentiels du Kabc (Kaufman et Kaufman, 1993) :

- **Mouvements de main** : L'enfant doit reproduire une séquence gestuelle (poing, paume, main sur le côté) de plus en plus longue. Cette épreuve met en jeu les capacités d'attention, de mémoire visuo-séquentielle et de mémoire de travail.

- **Suites de mots** : l'enfant doit rappeler des séries de mots (entrée auditive) en désignant les dessins correspondants (sortie visuelle/motrice) dans l'ordre dans lequel le psychologue les a nommés ; dans un deuxième temps, une tâche parasite (dénomination de couleurs) intervient entre la mémorisation et le rappel. Cette épreuve sollicite l'attention, la mémoire auditive et l'attention visuelle.

Mémoire des chiffres (WISC-III) : il s'agit pour l'enfant de répéter des chiffres en nombre croissant (de 2 à 7). Cette répétition est effectuée sous deux conditions. Pour la première, l'enfant doit répéter en écholalie la série de chiffres. Puis, pour la seconde, l'enfant doit répéter la série en ordre inverse. Cette épreuve implique donc la mémoire à court terme (empan endroit), la mémoire de travail (empan envers) et l'attention.

Corsi (De Agostini et al. 1996) : On demande à l'enfant de reproduire en imitation de l'examineur une séquence de coups frappés sur des cibles réparties dans un espace bien défini. On augmente progressivement le nombre d'éléments à mémoriser (de 2 à 7 cubes parmi 9). Cette répétition est effectuée sous deux conditions. Pour la première, l'enfant doit reproduire la séquence dans l'ordre et pour la seconde, en ordre inverse.

Mémoire spatiale (Kabc) : L'enfant doit rappeler la place de petits éléments figuratifs dessinés en montrant leur situation sur une page vierge. Cette épreuve évalue les capacités de maintien des informations visuo-spatiales et de repérage spatial.

Mémoire des prénoms (Nepsy, Korkman et al., 2003) : On présente à l'enfant, un à un, huit visages auxquels on associe un prénom. L'enfant doit mémoriser l'association de tel visage avec tel prénom. Il y a trois essais d'apprentissage. Puis, les mêmes visages sont présentées trente minutes plus tard et l'enfant doit citer chacun des prénoms.

En résumé, les épreuves du K-ABC (Mouvement de mains et Suite de mot), Mémoire des chiffres et Corsi nécessitent un traitement séquentiel. Les épreuves Suite de mots, empan envers de Mémoire de chiffres et Corsi font appel à la mémoire de travail. Les épreuves de Corsi et Mémoire spatiale requièrent la mémoire de travail visuo-spatiale.

2.2.3) Epreuves visuo-spatiales

Closure visuelle (DTVP-2, Hammil et al. 1993): L'enfant doit reconnaître une forme non finie parmi d'autres (voir Figure 4).

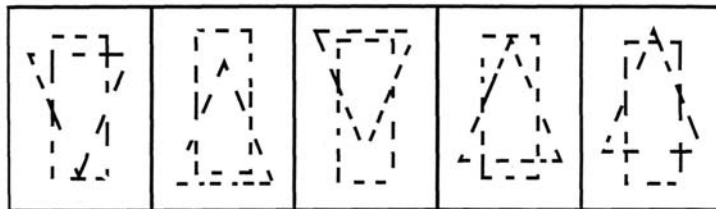
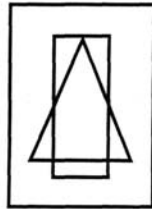


Figure 4 : exemple de Closure visuelle

Reconnaissance de forme (Kabc) : L'enfant doit dénommer un élément (animal, objet, personnage) présenté sous la forme d'un dessin incomplet (voir figure 5). Il s'agit d'un test d'intégration visuelle qui nécessite de reconstituer mentalement la « gestalt » d'un objet partiellement dessiné, les détails internes ne devant pas être traités séparément.

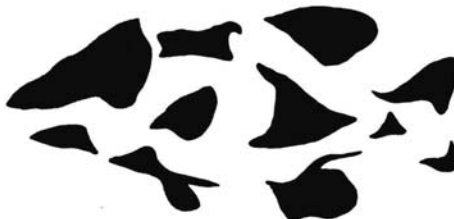


Figure 5 : exemple de reconnaissance de formes.

Ces deux épreuves interrogent les capacités de perception et d'intégration visuelle de traits ou de formes géométriques pour l'épreuve de Closure visuelle et d'objets connus pour Reconnaissance de forme.

Epreuves d'orientation des lignes (Benton et al., 1983) : L'enfant doit choisir parmi 11 orientations celles qui correspondent aux deux lignes qui lui sont présentées simultanément (voir figure 6).

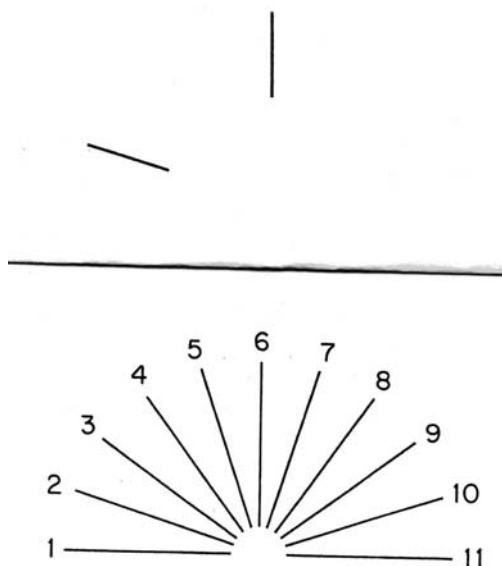


Figure 6 : exemple de reconnaissance de ligne.

Positon dans l'espace (DTVP-2) : L'enfant doit reconnaître un dessin orienté dans l'espace parmi d'autres (voir figure 7).

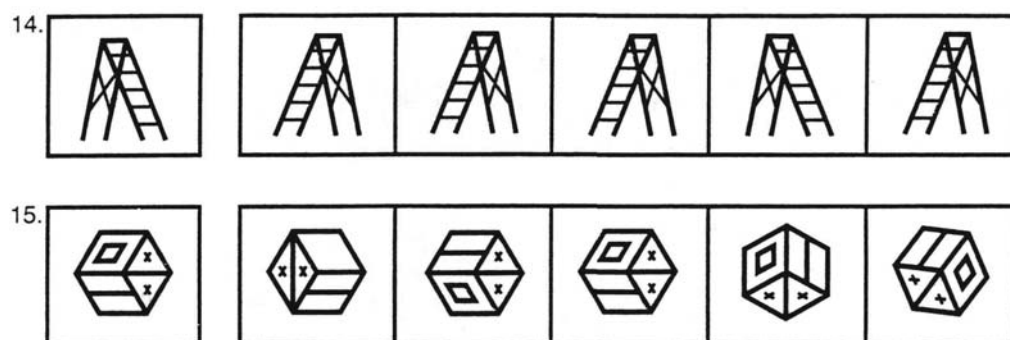


Figure 7 : deux exemples de position dans l'espace.

Reversal Test (Edfeldt, 1970) : L'enfant doit barrer toutes les cases dont les signes diffèrent. Il s'agit de figures simples non verbalisables parfois représentées en miroir l'une par rapport à l'autre (voir figure 8).

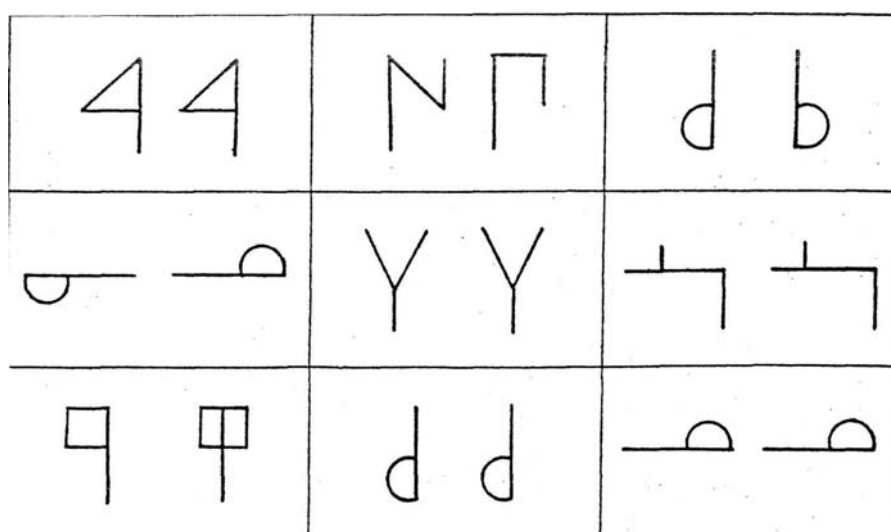


Figure 8 : exemple de 9 paires de symboles à comparer.

Ces trois épreuves nécessitent de traiter visuellement des orientations de ligne (Benton ligne), de formes géométriques ou de dessins (Position dans l'espace) et de symboles (Reversal test).

2.2.4) Épreuves verbales

Test d'analyse de la lecture et de la dyslexie « l'Alouette » de Lefavrais (1967) : c'est un texte d'une page (voir en annexe) que l'enfant doit lire pendant 3 minutes maximums. Ce texte n'a pas de signification, la combinaison des mots n'a pas de sens, les mots ayant pourtant un sens intrinsèque. Ce test a pour but d'évaluer l'âge de lecture par rapport à l'âge réel (chronologique). L'âge de lecture tient compte de la rapidité et de l'exactitude de la lecture.

Test de dénomination issu de deux batteries d'évaluation du langage : la N-EEL de Chevrie-Muller et Plaza (2001) pour les enfants jusqu'à 8 ans ou la L2MA de Chevrie-Muller, Simon et Fournier (1997) pour les enfants âgés de plus de 8 ans. Il s'agit pour l'enfant de dénommer des images d'objets familiers. Cette épreuve permet d'évaluer le lexique actif de l'enfant, ainsi que les troubles d'évocation.

2.3. Procédure

La passation des épreuves neuropsychologiques est effectuée au sein de l'hôpital dans le cadre des évaluations d'entrée dans l'Unité. L'ensemble de ces épreuves est effectué en deux temps. Dans un premier temps, nous évaluons l'efficacité intellectuelle (WISC-III) pendant 1h30 environ. Dans un second temps, nous proposons les épreuves de mémoire et les épreuves visuo-spatiales qui durent 1h environ.

2.4. Plan d'analyse

44 enfants sont répartis selon 3 pathologies. Les enfants ont tous effectués les tests neuropsychologiques décrits. Les variables dépendantes sont constituées des performances pour chaque sujet à chaque test.

3. Résultats

Dans un premier temps, nous allons décrire les résultats aux tests neuropsychologiques par pathologies, puis dans un deuxième temps, nous comparerons leurs performances par domaines (efficience intellectuelle, mémoire, épreuves visuo-spatiale et langage).

3.1. Description des résultats de l'évaluation neuropsychologique par pathologie

Les tableaux 1, 2, 3 et 4 présentent les résultats aux tests neuropsychologiques. Les résultats se situant dans la zone pathologique sont en bleus.

Efficienne intellectuelle

WISC-III	Dyslexique	Dysphasique	Dyspraxique
Pour les QI, la moyenne est de 100 et l'écart-type est de 15.			
QI Verbal	92,96 (13,74)	82 (15,09)	105,25 (22,45)
QI Performance	98,08 (12,19)	90,50 (9,30)	81,25 (21,68)
Compréhension Verbale	95,16 (14,52)	81,86 (15,11)	108 (22,04)
Organisation Perceptive	103,44 (14,17)	90,37 (4,63)	89,57 (22,75)
Vitesse de Traitement	89,80 (13,7)	93,90 (10,85)	77,10 (13,65)
Pour les subtests, la moyenne est de 10 et l'écart-type est de 3.			
Information	7,11 (3,62)	7,57 (3,26)	10,37 (4,80)
Similitudes	10 (2,97)	8 (2,52)	11,25 (4,20)
Arithmétique	7,28 (2,78)	7 (3,27)	8,50 (4,24)
Vocabulaire	9,44 (2,38)	6,14 (4,06)	11 (4,03)
Compréhension	10,28 (3,09)	6,43 (2,23)	13,12 (3,76)
Complètement d'images	10,76 (3,6)	10,62 (3,02)	10,62 (4,87)
Code	7,12 (3,23)	7,75 (2,82)	4 (3,25)
Arrangement d'images	10,60 (3,66)	8,62 (1,92)	9 (2,89)
Cubes	10,15 (2,75)	7,87 (3,18)	5,75 (4,1)
Assemblage d'objets	10,52 (2,47)	8,50 (2,56)	7,28 (5,09)
Symboles	9,62 (2,76)	9,71 (2,56)	8,25 (3,01)
Labyrinthes	9,90 (3,33)	9,50 (3,02)	7,25 (3,37)

Tableau 1 : Moyennes (écart-types) des scores obtenus au WISC-III en fonction de la pathologie des enfants.

Mémoire

Pour les épreuves, la moyenne est de 10 (écart-type 3).	Dyslexique	Dysphasique	Dyspraxique
Mémoire des chiffres	5,80 (2,33)	5,50 (3,07)	7 (2,78)
Pour les empan de chiffres et du Corsi, les scores sont donnés en écart-type à la moyenne (DS), si le score est < ou = à -2 DS, c'est pathologique.			
Empan endroit	-0,85 (0,79)	-1,3 (0,71)	-0,59 (0,99)
Empan envers	-1,11 (0,71)	-1,03 (0,80)	-1,36 (1)
Corsi endroit	0,15 (0,99) DS	-0,34 (0,63) DS	-0,45 (1,28) DS
Corsi envers	0,20 (1,43) DS	-0,15 (1,18) DS	0,55 (1,38) DS
Mouvement de mains	5,20 (2,86)	7,40 (3,93)	5,70 (2,29)
Suites de mots	6,08 (2,50)	5,28 (5,44)	8,33 (3,57)
Mémoire spatiale	9,60 (2,77)	9,50 (4)	7,44 (3,05)
Mémoire des prénoms	5,87 (2,44)	7,85 (1,68)	9 (4,42)
Apprentissage	6,41 (2,67)	8,14 (1,57)	9,11 (4,14)
Rappel différé	5,41 (2,43)	8,57 (1,81)	9,11 (3,18)

Tableau 2 : Moyennes (écart-types) des scores obtenus aux épreuves de mémoire en fonction de la pathologie des enfants.

Epreuves visuo-spatiales

Pour les épreuves, la moyenne est de 10 (écart-type 3).	Dyslexique	Dysphasique	Dyspraxique
Position dans l'espace	9,58 (2,57)	8,12 (2,35)	6,55 (2,83)
Closure visuelle	10 (3,45)	7,62 (3,50)	5,88 (3,18)
Benton lignes	-0,73 (1,02) DS	-0,24 (1,08) DS	-1,96 (1,43) DS
Reconnaissance de formes	10,12 (3,35)	7,87 (3,87)	9,11 (3,55)
Reversal Test	6,60 (1,44)	6,86 (2,04)	5,89 (2,47)

Tableau 3 : Moyenne (écart-type) des scores obtenus aux épreuves visuo-spatiales en fonction de la pathologie des enfants.

Langage

Le score de l'Alouette a été transformé en QI (âge lexique/âge chronologique X 100). La moyenne est de 100. Pour la Dénomination, le résultat est donné en écart à la moyenne (DS). Un score < ou = à -2 DS est pathologique.

	Dyslexique	Dysphasique	Dyspraxique
Alouette (Qâge)	65,41 (55,82)	75,77 (9,60)	80,12 (20,83)
Dénomination	-0,69 (0,77) DS	-3,85 (1,28) DS	-0,6 (1,90) DS

Tableau 4 : Moyennes (écart-types) des scores obtenus aux épreuves langagières en fonction de la pathologie des enfants.

3.1.1) Les enfants dyslexiques

Les résultats objectivés par le WISC III montrent une efficience intellectuelle normale et relativement homogène avec un QI Verbal moyen de 92,96 (75 à 122) et un QI Performance moyen de 98,08 (76 à 134). L'indice de Compréhension Verbale (95,16 allant de 76 à 128) est inférieur à l'indice d'Organisation Perceptive (103,44 allant de 78 à 145). La Vitesse de Traitement est de 89,8 en moyenne (67 à 112). Une grande diversité interindividuelle est relevée pour toutes les épreuves.

Concernant plus particulièrement l'échelle Verbale, les enfants dyslexiques obtiennent des performances normatives (9-10) dans les subtests faisant appel aux capacités conceptuelles, à la compréhension et à la réflexion. En revanche, les enfants semblent plus en difficulté pour les subtests Arithmétique (7,28) et Information (7,11), bien que leurs scores ne soient pas pathologiques.

D'autre part, ils obtiennent des notes normatives (9-10) à l'ensemble des subtests Performance. Le subtest Code (7,12) se démarque toutefois avec des résultats inférieurs à ceux des autres subtests.

Dans les épreuves de mémoire, les enfants dyslexiques obtiennent des notes subnormatives (5 à 6) à l'ensemble des épreuves de mémoire de travail auditivo-verbale, de traitement séquentiel et d'apprentissage d'une association prénoms/visages (couplage auditivo-visuel). Les performances en mémoire visuelle sont normales.

Dans les épreuves visuo-spatiales, seul le Reversal test est altéré. Les résultats aux épreuves Benton ligne, Position dans l'espace, Closure visuelle et Reconnaissance de formes sont dans la norme (9-10).

L'évaluation de la lecture par le test de « l'Alouette » montre un âge de lecture de 6 ans 7 mois en moyenne, ce qui objective un retard de lecture moyen de 37,3 mois (allant

de 13 à 64 mois), alors que l'âge chronologique moyen est de 9 ans 11 mois. L'épreuve de Dénomination est normale.

3.1.2) Les enfants dysphasiques

Dans ce second groupe, les résultats objectivés par le WISC III montrent une différence entre le QI Verbal (82 allant de 62 à 105) et le QI Performance (90,5 allant de 76 à 134) au détriment du QI Verbal. De même, l'indice de Compréhension Verbale (81,86 allant de 62 à 101) est inférieur en moyenne à l'indice d'Organisation Perceptive (90,37 allant de 84 à 98). L'indice Vitesse de Traitement est le plus élevé (93,9 en moyenne, allant de 74 à 103).

L'observation plus spécifique des subtests de l'échelle Verbale, confirme les difficultés des enfants dysphasiques : Information (7,57), Arithmétique (7), Vocabulaire (6,14) et Compréhension (6,43). Les résultats au subtest Similitudes se démarquent cependant positivement des autres, bien qu'ils restent à la limite inférieure de la norme (8).

Les scores qu'ils obtiennent à l'échelle de Performance sont dans la norme (8-10) pour l'ensemble des subtests. Les subtests Code et Cubes étant réussis moins aisément (respectivement, 7,75 ; 7,87).

Aux épreuves de mémoire, les enfants dysphasiques obtiennent des notes sub-normatives à l'ensemble des épreuves de mémoire de travail auditivo-verbale et de traitement séquentiel (5 à 7). L'Apprentissage et le Rappel de prénoms associés à un visage sont réussis, bien la moyenne soit faible (8). Les épreuves de mémoire visuelle sont normales.

Concernant le domaine visuo-spatial, un déficit est observé pour Closure visuelle, Reconnaissance des formes et Reversal test. De plus, les scores des tests Benton ligne et Position dans l'espace sont faibles (8).

L'évaluation de la lecture par le test de « l'Alouette » montre un âge de lecture de 6 ans 6 mois en moyenne, signifiant un retard de lecture moyen de 32,9 mois (9 à 40 mois), alors que l'âge chronologique moyen est de 7 ans 9 mois. L'épreuve de Dénomination est altérée.

3.1.3) Les enfants dyspraxiques

A l'inverse des enfants dysphasiques, les résultats obtenus par les enfants dyspraxiques montrent une différence entre le QI Verbal (105,25 allant de 80 à 150) et le QI Performance (81,25 allant de 61 à 119) en faveur du QI Verbal. L'Indice de Compréhension Verbale (108 allant de 81 à 150) est cette fois supérieure à l'indice d'Organisation Perceptive (89,57 allant de 54 à 123) et la vitesse de traitement est ici ralentie (77,1 en moyenne, allant de 57 à 103).

Les enfants dyspraxiques obtiennent des scores moyens à supérieurs dans l'ensemble des subtests de l'échelle Verbale (10 à 13). Nous observons une faiblesse pour le subtest Arithmétique (8).

Dans l'échelle de Performance, ils sont en difficulté pour les épreuves visuo-constructives (Cubes : 5,75 et Assemblages d'objets : 7,28) et grapho-motrices (Code : 4 et Labyrinthes : 7,25). Les subtests Symboles, Complètement d'images et Arrangements d'images sont normatifs (respectivement 8, 9 et 10).

Sur le plan mnésique, les enfants dyspraxiques sont en difficultés pour les épreuves : Mémoire des chiffres (7), Mouvement de mains (5,7) et Mémoire spatiale (7,44)

et ils obtiennent des notes moyennes faibles pour les épreuves Corsi, Suite de mots et Mémoire des prénoms (8 à 9).

Les épreuves visuo-spatiales sont déficitaires pour les tests : Position dans l'espace, Closure visuelle, Benton ligne, et Reversal. Le test Reconnaissance de formes est normatif (9).

L'évaluation de la lecture par le test de « l'Alouette » montre un âge de lecture de 6 ans 8 mois en moyenne. Le retard de lecture moyen est pour ce groupe de 27,9 mois (8 à 52 mois), alors que l'âge chronologique moyen est de 9 ans 6 mois. L'épreuve de Dénomination est dans la moyenne.

3.2 Analyse comparative entre les trois pathologies

Nous avons effectué une procédure GLM (Modèle Linéaire Généralisé) sur l'ensemble des résultats aux tests neuropsychologiques avec le logiciel de statistique SAS (voir tableaux 5, 6, 7 et 8, colonne de droite). Puis, nous avons réalisé, une analyse post-hoc pour comparer chaque groupe un à un en utilisant un T de Student à l'aide du logiciel Statistica (voir tableaux 5, 6, 7 et 8).

3.2.1) Efficience intellectuelle

WISC-III	Dyslexique/ Dysphasique P	Dyslexique/ Dyspraxique P	Dysphasique/ Dyspraxique P	GLM P
QI Verbal	.077	.070	.038	.026
QI Performance	NS	.009	NS	.016
Compréhension Verbale	.041	.065	.020	.013
Organisation Perceptive	.016	.055	NS	.029
Vitesse de Traitement	NS	.031	.022	.037
Information	NS	.038	NS	.099
Similitudes	NS	NS	NS	NS
Arithmétique	NS	NS	NS	NS
Vocabulaire	.009	NS	.037	.012
Compréhension	.004	.039	.001	.000
Complètement d'images	NS	NS	NS	NS
Code	NS	.023	.027	.038
Arrangement d'images	NS	NS	NS	NS
Cubes	.056	.001	NS	.003
Assemblage d'objets	.054	.023	NS	.036
Symboles	NS	NS	NS	NS
Labyrinthes	NS	.098	NS	NS

Tableau 5 : Pour les trois premières colonnes, les valeurs de p correspondent à une comparaison entre groupes avec un T de Student. Les valeurs exactes sont données pour un P jusqu'à .10. La dernière colonne correspond à l'analyse globale par une procédure GLM, la valeur du P est également donnée jusqu'à .10. Les valeurs des P significatives $p < .05$ sont en bleus.

La comparaison des performances au WISC-III entre les trois groupes confirme statistiquement les différences de profils par pathologie établies cliniquement. Les enfants dyspraxiques obtiennent de meilleurs scores que les enfants dyslexiques et dysphasiques pour le QI Verbal et l'Indice de Compréhension Verbale. A l'inverse, le QI Performance et l'Indice d'Organisation Perceptive sont plus faibles pour les enfants dyspraxiques que pour les enfants dyslexiques. Les enfants dysphasiques présentent des difficultés pour l'échelle de Performance mais celles-ci sont moindres que chez les enfants dyspraxiques. Toutefois, ces dernières différences ne sont pas significatives, excepté pour l'Indice de Vitesse de Traitement : les enfants dyspraxiques sont statistiquement plus lents que les enfants dysphasiques et dyslexiques.

Concernant l'échelle Verbale, les enfants dysphasiques, au contraire des enfants dyslexiques et dyspraxiques, obtiennent des notes significativement plus faibles aux subtests Vocabulaire et Compréhension, ce qui objective leur trouble d'expression orale. Les enfants dyslexiques et dysphasiques ont des résultats sub-normatifs au subtest Information alors que les performances à ce subtest sont normatives et statistiquement plus élevées chez les enfants dyspraxiques. Pour les subtests Similitudes et Arithmétiques, les trois groupes obtiennent des notes comparables.

Au sein de l'échelle Performance, les enfants dyspraxiques et dysphasiques obtiennent des scores significativement plus faibles que les enfants dyslexiques aux subtests Cubes et Assemblage d'objets. Le subtest Code est quant à lui moins bien réussi par les enfants dyspraxiques que les autres, même si les performances sont altérées pour l'ensemble des groupes. Les subtests Complètement d'images et Arrangement d'images sont normatifs et homogènes pour les trois pathologies. Les résultats aux subtests Labyrinthes et Symboles sont eux aussi similaires pour les trois pathologies, toutefois nous relevons une différence tendancielle entre les enfants dyspraxiques et dyslexiques au subtest Labyrinthes.

3.2.2) Mémoire

	Dyslexique/ Dysphasique P	Dyslexique/ Dyspraxique P	Dysphasique/ Dyspraxique P	GLM P
Mémoire des chiffres	NS	NS	NS	NS
Empan endroit	NS	NS	NS	NS
Empan envers	NS	NS	NS	NS
Corsi endroit	NS	NS	NS	NS
Corsi envers	NS	NS	NS	NS
Mouvement de mains	NS	NS	NS	NS
Suites de mots	NS	.046	NS	NS
Mémoire spatiale	NS	.059	NS	NS
Mémoire des prénoms	.054	.014	NS	.021
Apprentissage	NS	.034	NS	.056
Rappel différé	.003	.001	NS	.000

Tableau 6 : Pour les trois premières colonnes, les valeurs de p correspondent à une comparaison entre groupe avec un T de Student. Les valeurs exactes sont données pour un P jusqu'à .10. La dernière colonne correspond à l'analyse globale par une procédure GLM, la valeur du P est également donnée jusqu'à .10. Les valeurs des P significatives $p < .05$ sont en bleus.

Quelle que soit la pathologie des enfants, ceux-ci rencontrent des difficultés au subtest Mémoire des chiffres (respectivement, 5,8 ; 5,5 ; 7). En revanche, on observe que le subtest Mémoire spatiale est tendanciellement moins bien réussi par les enfants dyspraxiques par rapport aux enfants dyslexiques. A l'inverse, ces derniers sont significativement plus en difficulté que les enfants dyspraxiques à l'épreuve Suite de mots, et également moins performants que les deux autres groupes à l'épreuve Mémoire des prénoms.

3.2.3) Épreuves visuo-spatiales

	Dyslexique/ Dysphasique P	Dyslexique/ Dyspraxique P	Dysphasique/ Dyspraxique P	GLM P
Position dans l'espace	NS	.006	NS	.015
Closure visuelle	NS	.004	NS	.010
Benton lignes	NS	.016	.020	.014
Reconnaissance de formes	NS	NS	NS	NS
Reversal Test	NS	NS	NS	NS

Tableau 7 : Pour les trois premières colonnes, les valeurs de p correspondent à une comparaison entre groupe avec un T de Student. Les valeurs exactes sont données pour un P jusqu'à .10. La dernière colonne correspond à l'analyse globale par une procédure GLM, la valeur du P est également donnée jusqu'à .10. Les valeurs des P significatives $p < .05$ sont en bleus.

Les enfants dyspraxiques ont des performances altérées aux épreuves Position dans l'espace et Closure visuelle comparativement aux enfants dyslexiques, ainsi qu'à l'épreuve de Benton ligne comparativement aux enfants dysphasiques et dyslexiques. Les trois groupes ont des performances comparables aux épreuves Reconnaissance de formes (scores normatifs) et Reversal (scores pathologiques).

3.2.4) Langage

	Dyslexique/ Dysphasique P	Dyslexique/ Dyspraxique P	Dysphasique/ Dyspraxique P	GLM P
Alouette (Qâge)	.056	.000	.097	.002
Dénomination	.000	.078	.000	.000

Tableau 8 : Pour les trois premières colonnes, les valeurs de p correspondent à une comparaison entre groupe avec un T de Student. Les valeurs exactes sont données pour un P jusqu'à .10. La dernière colonne correspond à l'analyse globale par une procédure GLM, la valeur du P est également donnée jusqu'à .10. Les valeurs des P significatives $p < .05$ sont en bleus.

Quelle que soit leur pathologie, les enfants présentent un retard de lecture, retard cependant plus prononcé pour les enfants dyslexiques. Les enfants dysphasiques présentent des performances altérées à l'épreuve de Dénomination et ils sont significativement plus en échec à cette épreuve que les enfants dyslexiques et dyspraxiques.

En résumé, les enfants dyslexiques, dysphasiques et dyspraxiques montrent tous des performances normatives aux épreuves Similitudes, Complètement d'images, Arrangement d'images, Corsi et Reconnaissance de forme. En revanche, ils ont tous des difficultés pour les épreuves Code, Arithmétiques, Mémoire des chiffres, Mouvement de mains, Reversal et le test de lecture l'Alouette.

Les enfants **dyslexiques** ont un QI Verbal et un indice de Compréhension Verbale inférieurs aux enfants dyspraxiques mais supérieurs aux enfants dysphasiques. Leur QI Performance et l'indice d'Organisation Perceptive sont supérieurs à celui des enfants des deux autres groupes. Leurs performances sont les plus faibles des trois groupes aux épreuves Informations, Mémoire des prénoms et le test de lecture l'Alouette.

Les enfants **dysphasiques** ont le QI Verbal le plus faible des trois groupes. Leurs performances sont les plus faibles aux épreuves faisant appel au langage expressif (Vocabulaire, Compréhension et Dénomination).

Les enfants **dyspraxiques** ont le QI Performance et l'indice Vitesse de Traitement les plus faibles. Leurs performances sont inférieures aux deux autres groupes aux épreuves grapho-motrices et visuo-spatiales (Code, Cubes, Assemblages d'objets, Labyrinthes, Mémoire spatiale, Position dans l'espace, Closure visuelle, Benton ligne).

4. Discussion

Lors de cette évaluation neuropsychologique d'enfants présentant un trouble des apprentissages, nous nous attendions, dans un premier temps à observer les profils neuropsychologiques de chaque pathologie décrite dans la littérature. Nos résultats vont dans ce sens et la comparaison entre les groupes confirme leur spécificité par de nombreuses différences statistiquement significatives. Nous allons expliciter nos résultats pathologies par pathologies.

Concernant les enfants dyslexiques, leurs performances aux tests neuropsychologiques sont marquées par un trouble de mémoire de travail auditivo-verbale (en dehors du retard massif de lecture qui a permis de les définir en tant que tel). Ce trouble est révélé par une faiblesse aux épreuves Arithmétique et Mémoire de Chiffres du WISC-III, Suite de mots du K-abc et Mémoire des prénoms de la Nepsy. Ce résultat est en accord avec les travaux notamment de Habib (1997) qui a décrit d'importants troubles de la mémoire dans la dyslexie.

Au WISC-III, nous retrouvons le profil classique décrit par plusieurs auteurs (Bannatyne, 1971 ; Kaufman, 1981 ; Spafford, 1989), c'est à dire qu'ils obtiennent leur notes les plus faibles aux subtests Arithmétique, Code, Information et Mémoire des chiffres. Pour les subtest Arithmétique, Code et Mémoire des chiffres, il s'agit d'une déficience de la mémoire de travail. Le subtest Information est souvent faible car il évalue par des questions les acquisitions scolaires. Les enfants dyslexiques ont souvent redoublé une classe et sont en retard par rapport aux connaissances conformément à leur âge chronologique. De plus, certaines questions portent sur l'organisation temporelle (jours de

la semaine, mois, saisons) qui est très souvent mal et tardivement maîtrisé par les enfants dyslexiques.

Ensuite, nous retrouvons des difficultés de traitement séquentiel. Aux épreuves Mémoire de chiffres, Corsi, Mouvement de mains et Suite de mots, nous avons remarqué, lors de la passation, que nos enfants dyslexiques n'avaient pas seulement des difficultés de mémoire de travail mais également des difficultés pour restituer les éléments dans leur ordre de présentation. C'est notamment ce qui est décrit dans une étude de Pakzad et Rogé (2004) portant sur des enfants dyslexiques, des enfants en difficulté scolaire et des enfants de bon niveau. Les auteurs ont administré une épreuve de Mémoire de chiffres. Les résultats prennent en compte les réussites dans l'ordre et les réussites dans le désordre. Les auteurs ont montré que les trois groupes se différencient de façon significative. Les enfants dyslexiques avaient une performance très inférieure aux enfants de bon niveau et aux enfants en difficulté scolaire, ce qui confirme les difficultés des enfants dyslexiques en mémoire auditivo-verbale à court terme. Cette étude démontre également que le facteur « ordre » est un élément perturbateur pour les trois groupes, son impact étant particulièrement prononcé chez les dyslexiques. L'écart entre les performances des dyslexiques et des non-dyslexiques devient de plus en plus important à mesure que l'ordre des chiffres à retenir augmente. Ainsi, le traitement séquentiel occupe une place prépondérante dans les difficultés des dyslexiques. Van Hout (1994) utilise le terme de trouble de la mémoire auditivo-séquentielle.

Nous observons également que nos enfants dyslexiques sont gênés dans l'épreuve Mémoire des prénoms. Cette épreuve requiert la capacité de mémorisation d'une association visuo-verbale. Cette constatation alimente les conclusions apportées par Mayringer et Wimmer (2000), Windfuhr et Snowling (2001), ainsi que celles issues de l'étude de Plaza et Cohen (2005) avec des enfants mauvais lecteurs et bons lecteurs de fin

de CP qui montraient des difficultés dans le transfert intermodal auditif-verbal et visuel-verbal pour les mauvais lecteurs.

Par ailleurs, les enfants dyslexiques obtiennent de bonnes performances aux épreuves visuo-spatiales, ce qui est en accord avec les données qui vont dans le sens d'une préservation des apprentissages non-verbaux (Vellutino, Steger, Harding et Phillips, 1975 ; Vellutino, Scanlon, et Spearing, 1995). Nos résultats ne montrent pas de trouble d'intégration visuelle (Reconnaissance de forme, Closure visuelle) ou de perception visuelle des orientations (Position dans l'espace, Benton ligne). En revanche, ils commettent des erreurs en miroir au test de Reversal. Dans cette épreuve, il s'agit de repérer si deux symboles (dont certains se rapprochent des lettres) sont identiques ou non. Les différences portent sur le symbole lui-même ou seulement l'orientation. Les enfants dyslexiques ne réussissent pas à repérer le sens des symboles lorsque ces derniers subissent une transformation selon un axe horizontal (inversion droite/gauche). Ceci rejoint les descriptions habituelles de confusions visuelles d'apprentis lecteurs et d'enfants dyslexiques (Badian 2005 ; Brendler et Lachmann 2001 ; Fisher et al 1978 ; Miles 1993 ; Terepocki et al 2002).

Les enfants dysphasiques montrent le profil de WISC-III attendu, c'est à dire une dissociation entre le QI Verbal et le QI Performance en faveur du QI Performance. Les troubles portent principalement sur le langage (ce qui a permis de les définir comme dysphasiques) avec une prédominance sur le versant expressif. Les résultats montrant une faiblesse aux épreuves Vocabulaire, Compréhension et Dénomination en attestent. Ces épreuves font appel au stock lexical et aux capacités de verbalisation, deux domaines déficitaires chez ces enfants (Potier, 2003). Dans l'échelle Verbale du WISC-III, nous remarquons que l'épreuve Similitudes est normative, ce qui indique que malgré leur

trouble du langage, ils disposent de capacités de catégorisation et d'abstraction opérante. De plus, pour répondre à cette épreuve, il n'est pas nécessaire de faire des phrases, les enfants peuvent répondre d'un mot et ne sont donc pas pénalisés par leurs difficultés d'expression.

Nos résultats mettent également en évidence des troubles de mémoire de travail auditivo-verbale. Ces troubles ont été décrit notamment par Gathercole et Baddeley (1990) dans les troubles du langage. Une étude de Gathercole (1998) a testé les capacités de répétition phonologique de non-mots (capacité de mémoire de travail auditivo-verbale) chez des enfants dysphasiques de 8 ans. Cet auteur a observé un retard d'environ 4 ans au niveau de ces capacités. Par ailleurs, en ce qui concerne les capacités de mémoire de travail visuo-spatiale, celles-ci sont normales dans notre échantillon d'enfants dysphasiques ce qui confirme une étude d'Hoffman et Gillam (2004) testant la mémoire verbale et la mémoire spatiale chez des enfants de 8 à 10 ans présentant un trouble spécifique du langage. Les résultats ont montré que ces enfants rappelaient moins d'éléments pour les stimuli verbaux alors que pour le rappel d'une localisation spatiale (un X sur un quadrillage), leurs performances étaient comparables aux enfants témoins.

Pour l'épreuve Mémoire des prénoms, contrairement aux enfants dyslexiques, leurs performances sont normatives ce qui souligne le fait que ces enfants bénéficient de l'association vision-audition pour la mémorisation des prénoms.

Dans le domaine visuo-spatial et visuo-constructif, nous observons des difficultés visuo-constructives pour les épreuves Cubes, Assemblage d'objets, Closure visuelle et Reconnaissance de forme qui n'étaient pas attendu. Une explication de ce pattern de résultats repose sur le fait que, dans notre échantillon d'enfants dysphasiques, la moitié (4/8 enfants) rencontrent des difficultés praxiques associées. Une petite précision pour expliquer le faible résultat à l'épreuve Reconnaissance de formes. Lors de cette épreuve,

les enfants dysphasiques cumulent des troubles d'identification de nature perceptive mais également d'accès lexical.

Le profil du WISC-III que nous attendions est également observé pour les enfants dyspraxiques, c'est à dire une dissociation entre le QI Verbal et le QI Performance en faveur du QI Verbal. Les résultats à l'échelle de Performance vont dans le sens du profil décrit par les ouvrages de neuropsychologie traitant du WISC (Lussier et Flessas, 2001 ; Mazeau, 1995) : un déficit aux subtests Assemblage d'objets, Cubes, Labyrinthes et Code. Les performances aux subtests, Cubes et Assemblages d'objets sont à mettre en lien avec les épreuves visuo-spatiales utilisées dans notre évaluation car elle révèlent toutes un trouble visuo-perceptif et visuo-constructifs. Les subtest Labyrinthes et Code sont à rapprochés de l'épreuve Mouvement de mains révélant un trouble grapho-moteur et de coordination visuo-motrice. En effet, l'épreuve mouvement de mains est souvent échouée pour les enfants qui présentent une dyspraxie motrice avec des difficultés de programmation de la séquence (Tourette, 2006). De plus, les évaluations effectuées dans l'Unité par l'ergothérapeute et la psychomotricienne révèlent des troubles praxiques gestuelles chez l'ensemble des enfants de l'échantillon. Ainsi, l'ensemble de ces troubles est classiquement décrit dans le cadre de la dyspraxie (Mazeau, 1995).

Sur le plan mnésique, nous relevons l'existence de faibles performances à l'épreuve Mémoire spatiale et normale au Corsi. Toutefois, lors de la passation du Corsi, nous avons pu observer des difficultés de repérage spatial des cubes. Cette différence de performances pourrait s'expliquer par le principe de notation. En effet, la notation du Corsi se base sur le nombre maximum de cubes pointés dans l'ordre, les erreurs ne sont pas prises en compte. L'épreuve du Corsi, comme l'épreuve de Mémoire spatiale, demande un traitement visuo-spatiale et une réponse motrice, deux processus qui sont déficitaires chez nos enfants

dyspraxiques. Nous ne pouvons donc conclure à un trouble de mémoire en tant que tel. Par ailleurs, nous avons pu remarquer également une faiblesse de la mémoire de travail auditivo-verbale à l'épreuve Mémoire de chiffres et Suite de mots. Pour l'épreuve Mémoire des chiffres, nous pouvons envisager un trouble de la mémoire de travail mais pour l'épreuve Suite de mots, il faut jouter que la réponse est visuelle. L'enfant doit transférer l'information d'une modalité verbale à une modalité visuelle et gestuelle. Ainsi, nous observons de faibles performances de mémoire de travail auditivo-verbale et visuo-spatiale qui sont intriqués avec leurs difficultés visuo-spatiales. Par ailleurs, la littérature ne rapporte pas de perturbation particulière de la mémoire en général dans la dyspraxie. Le fait que nos enfants présentent des troubles des apprentissages multiples avec notamment un retard de lecture peut expliquer ce tableau plus vaste de troubles.

Ainsi, les résultats de cette évaluation neuropsychologique sont en accord la littérature en ce qui concerne les trois pathologies décrites. De façon plus précise, nous observons pour notre échantillon d'enfants dyslexiques, un déficit marqué pour la mémoire de travail auditivo-verbale et de traitement séquentiel ; pour nos enfants dysphasiques, un trouble du langage surtout sur le versant expressif, un trouble de la mémoire de travail auditivo-verbale et des difficultés visuo-constructives ; et, pour nos enfants dyspraxiques, des troubles praxiques gestuelles, visuo-perceptifs, visuo-constructifs et de faibles performances dans les épreuves de mémoire de travail auditivo-verbale et visuo-spatiale.

A présent, nous allons évaluer les capacités de transfert intra et intermodal entre le toucher et la vision, chez l'enfant tout-venant, puis dans notre population.

Expérience 2 : Etude développementale du transfert intermodal entre le toucher et la vision chez l'enfant d'âge scolaire

1. Introduction

Dans cette étude, nous allons faire passer des tâches de transfert intra et intermodal entre le toucher et la vision d'un matériel constitué de formes de géométriques simples et composites chez des enfants de 4 à 8 ans. La description du matériel va être présentée ci-dessous. Cette étude permettra, d'une part, d'étudier la perception haptique de l'espace et ses interactions avec la vision lorsque ces deux modalités appréhendent les mêmes propriétés, et d'autre part, d'expérimenter des sujets tout-venant pour comparer leurs performances avec les enfants présentant un trouble des apprentissages. Dans la partie 2.2.2 de notre revue de littérature, nous avons vu que la perception tactile de formes chez l'enfant entre 3 et 9 ans évolue notamment sous l'impulsion d'une meilleure efficience de l'exploration à la fois visuelle et tactile en direction d'un but (Piaget et Inhelder, 1947; Hatwell, 1986; Lederman & Klatzky, 1987 ; Stoltz-Loike & Bornstein, 1987). Nous nous attendons donc, dans notre étude chez les enfants tout-venant, à observer une amélioration de la performance avec l'augmentation de l'âge.

Nous avons construit un matériel constitué d'une série de formes simples et composites. En raison de l'augmentation de la complexité entre la première et la deuxième

série, nous faisons l'hypothèse d'observer une différence de performance entre les formes simples et les formes composites, en faveur des formes simples.

En ce qui concerne le type de transfert, nous avons vu dans la partie 2.1.3 que lors d'un traitement d'une forme à caractère spatial, il y a dominance de la modalité visuelle sur la modalité haptique. Dans ce cas le transfert est mieux réussi de la modalité la moins efficace à la plus efficace. Nous faisons donc l'hypothèse que le transfert T-V sera mieux réussi que le transfert V-T, mais également, mieux réussi que le transfert T-T où l'effet facilitateur de la vision ne peut opérer.

2. Méthode

2.1 Participants

Nous avons observé un échantillon de 77 enfants âgés de 4 à 8 ans scolarisés dans trois écoles maternelles (15^{ème}, 7^{ème} et 3^{ème} arrondissement) et deux écoles primaires de Paris (3^{ème} et 19^{ème}), localisées dans des arrondissements favorisés et non favorisés. Les enfants étaient sélectionnés par l'instituteur sur le critère d'une absence de difficultés d'apprentissage scolaire.

Nos participants sont répartis en 5 groupes d'âge :

- 18 enfants âgés de 4 ans à 4 ans 11 mois (moyenne = 4 ans 2 mois), 11 garçons et 7 filles ;
- 19 enfants âgés de 5 ans à 5 ans 11 mois (moyenne = 5 ans 6 mois), 9 garçons et 10 filles ;
- 19 enfants âgés de 6 ans à 6 ans 10 mois (moyenne = 6 ans 2 mois), 6 garçons et 13 filles ;
- 11 enfants âgés de 7 ans à 7 ans 10 mois (moyenne = 7 ans 6 mois), 4 garçons et 7 filles ;
- 10 enfants âgés de 8 ans à 8 ans 9 mois (moyenne = 8 ans 6 mois), 7 garçons et 3 filles.

2.2 Matériel

2.2.1 Maison en bois

Pour tester le transfert intra et intermodal chez les enfants, nous avons construit une maison en bois qui mesure 28 cm de hauteur x 34 cm de largeur x 20 cm de profondeur. Elle présente d'un côté deux orifices dans lesquels l'enfant peut glisser ses mains pour toucher les formes qui vont lui être présentées (illustration 1). De l'autre côté de la maison, l'expérimentateur dispose d'une large ouverture par laquelle il peut insérer les formes et observer les manipulations de l'enfant (Illustration 2). La maison était posé sur une table entre l'enfant et l'expérimentateur. Ce dispositif permet de présenter à l'enfant les formes sans qu'il puisse les voir. La situation est ainsi plus « écologique » et ludique. Ce dispositif est inspiré des études de Witelson (1974) et de Bushnell et Baxt (1999).



Illustration 1 : Vue de la maison pour l'enfant



Illustration 2 : Vue de la maison du côté de l'expérimentateur

2.2.2 Stimuli tactiles et visuels

Les stimuli tactiles sont des formes géométriques en bois collées sur une planche qui mesure environ 6,7 cm de hauteur X 4 cm de largeur. La forme avait une hauteur de 0,8 cm. Ce dispositif est lui aussi inspiré de l'étude de Witelson (1974) ; il permet de garder la forme dans une certaine position et oblige l'enfant à explorer le contour des

formes et non à prendre la forme. En effet, seul le suivi de contour permet une représentation exacte des formes, comme l'ont décrit Lederman et Klatzky (1997). Les formes en bois ont été vernies pour que la texture soit identique pour tous les stimuli tactiles. Nous avons créé 18 planches sur lesquelles sont collées une seule forme géométrique et 12 planches sur lesquelles sont collés deux formes géométriques. Nous appellerons « formes simples », l'ensemble des planches contenant une forme géométrique, et, « formes composites », l'ensemble des planches contenant deux formes géométriques.

Nous détaillerons, dans un premier temps, les stimuli tactiles et visuels pour les formes simples. Et, dans un second temps les stimuli tactiles et visuels pour les formes composites.

A) Formes simples tactiles

- **Formes simples cibles**

Six formes géométriques constituent les stimuli cibles (Illustration 3).

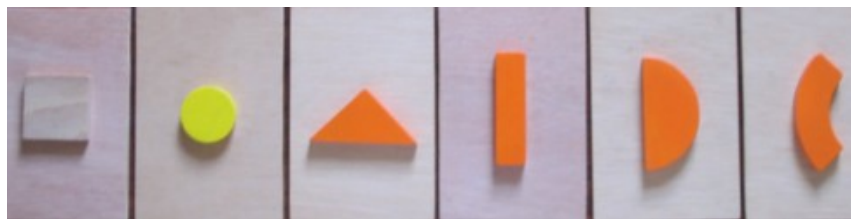


Illustration 3 : Stimuli tactiles cibles.

Il s'agit de formes géométriques classiques qui font partie des premiers apprentissages proposés en école maternelle. Ces formes géométriques sont régulières. Parmi elles, le rectangle, le demi-cercle plein, le croissant de lune et le triangle sont des formes pouvant être orientées. Ces dernières seront toujours présentées dans la même position. Lors de nos pré-expériences, la plupart des enfants de trois ans savaient nommer, en reconnaissance visuelle ou tactile, le rond, le carré, le triangle et le demi-cercle. Le

rectangle était souvent nommé « un bâton » ou « une barre » et le croissant de lune, « une banane ».

- Formes simples distractrices pour le transfert Toucher-Toucher

Six formes distractrices sont utilisées pour le transfert Toucher-Toucher (ligne du bas, illustration 4). Elles sont irrégulières et 3 d'entre elles peuvent être dénommées, l'étoile, le canard et la grenouille. Toutefois, le canard et la grenouille n'étant pas présentés dans une position canonique, et, le matériel étant désigné par l'expérimentateur comme « des formes », sans précision, les enfants ne les ont jamais perçus comme tels.

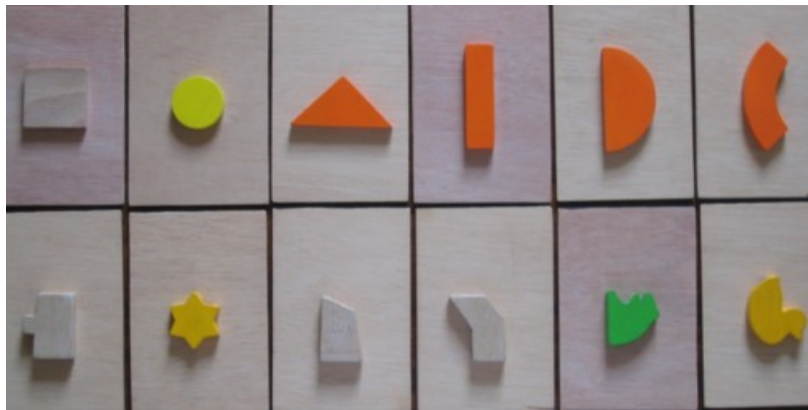


Illustration 4 : Ligne du haut : Stimuli tactiles cibles.

Ligne du bas : Stimuli tactiles présentés comme distracteurs pour le transfert T-T.

- Formes distractrices pour le transfert Vision-Toucher

Six formes distractrices sont utilisées pour le transfert Vision-Toucher (ligne du bas, illustration 5). Elles sont irrégulières et ne peuvent être dénommées à l'exception de la fleur.



Illustration 5 : Ligne du haut : Stimuli tactiles cibles.

Ligne du bas : Stimuli tactiles présentés comme distracteurs pour le transfert V-T.

B) Formes simples visuelles

- Formes cibles

Il s'agit des six formes tactiles cibles, présentées précédemment, dessinées en noir sur fond blanc (ligne du haut, illustration 6). Elles sont présentées sur un carton. Les dimensions du carton et du stimulus visuel sont identiques aux dimensions de la planche et du stimulus tactile.

- Formes distractrices pour le transfert Toucher-Vision

Six formes distractrices sont utilisées pour le transfert Toucher-Vision (ligne du bas, illustration 6). Elles sont différentes des 12 formes tactiles distractrices, mais sont également irrégulières et ne peuvent être nommées. Elles sont présentées sur un carton comme les formes visuelles cibles.

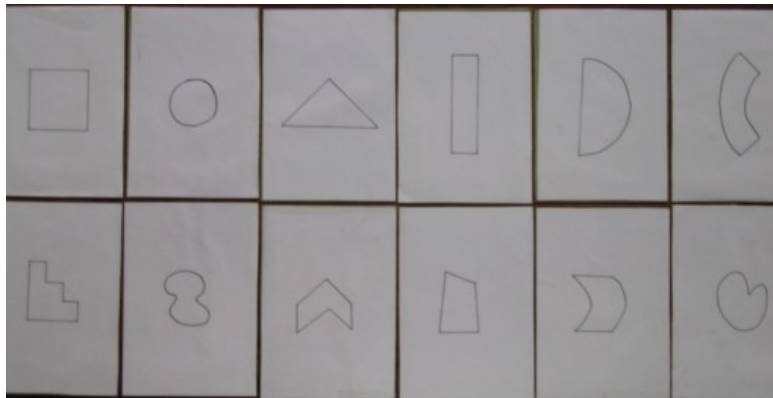


Illustration 6 : Ligne du haut : Stimuli visuels cibles pour le transfert V-T.

Ligne du bas : Stimuli visuels présentés comme distracteurs pour le transfert T-V.

C) Formes composites tactiles

- Formes composites cibles

Les six formes géométriques cibles sont combinées deux à deux sur une même planche (Illustration 7). Elles sont juxtaposées selon un axe vertical (en haut/bas pour trois planches) et horizontal (en droite/gauche pour trois autres). Ces combinaisons, à l'exception du « ! » ne représentent pas de symbole connu.

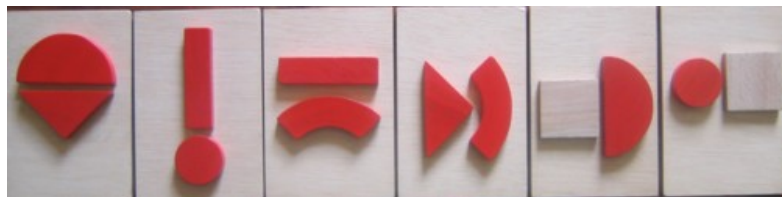


Illustration 7 : Stimuli composites tactiles.

- Formes distractrices pour le transfert Toucher-Toucher et Vision-Toucher

Six combinaisons de formes distractrices sont utilisées pour le transfert Toucher-Toucher et Vision-Toucher (Illustration 8). Celles-ci sont identiques aux stimuli cibles mais inversées selon un axe de symétrie vertical ou horizontal. Les stimuli cibles sont rouges et les stimuli distracteurs verts pour faciliter la passation de l'examineur.

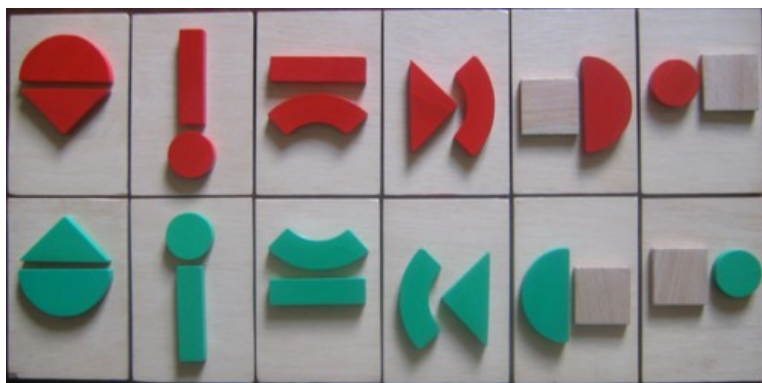


Illustration 8 : Stimuli composites cibles et distracteurs (position inversée).

D) Formes composites visuelles

- Formes cibles

Les six combinaisons sont dessinées en noir sur fond blanc (illustration 9, ligne du haut). Elles sont présentées sur un carton. Les dimensions du carton et du stimulus visuel sont identiques aux dimensions de la planche et du stimulus tactile.

- Formes distractrices pour le transfert T-V

Six combinaisons de formes distractrices sont utilisées pour le transfert Toucher-Vision (ligne du bas, illustration 9). Celles-ci sont identiques aux stimuli cibles mais inversées selon un axe de symétrie vertical ou horizontal. Elles sont présentées sur un carton comme pour les formes composites visuelles cibles.



Illustration 9 : Ligne du haut : Stimuli composites visuels cibles

Ligne du bas : Stimuli composites visuels présentés comme distracteurs pour le transfert T-V.

2.3 Procédure

Il s'agit de tâches d'appariement intra et intermodal comportant deux phases. Dans la première phase, dite de familiarisation, les enfants explorent visuellement ou tactilement les formes géométriques. Puis, dans la seconde phase, dite de test, ils doivent comparer la forme cible à un distracteur et la reconnaître, soit dans la même modalité (transfert intramodal), soit dans une modalité distincte (transfert intermodal) à celle de la phase de familiarisation. Cette procédure d'appariement est celle classiquement utilisée dans les études sur le transfert intermodal (Voir Hatwell, 1986 et 1994 pour une revue des études chez l'enfant).

Nous avons réalisé trois tâches de transfert : Toucher-Toucher (T-T), Toucher-Vision (T-V) et Vision-Toucher (V-T). Nous n'avons pas effectué dans cette étude de transfert intramodal Vision-Vision car lors des pré-expériences que nous avons réalisées auprès

d'enfants âgés de 3 à 4 ans, nous avons pu observer leur facilité et leur rapidité à reconnaître visuellement les formes géométriques simples. Observations confirmées par Rose et Orlian (1991) qui ont montré qu'à 12 mois le transfert V-V était déjà aisément réalisé.

Dans la tâche de transfert T-T, nous demandons aux enfants, dans la phase de familiarisation, d'explorer tactilement un objet sans le voir puis, dans la phase test, de le reconnaître toujours tactilement face à un distracteur, toujours sans contrôle visuel. Le transfert intramodal T-T permet de s'assurer que les objets sont bien différenciés dans la modalité tactile. Ainsi, un échec au transfert intermodal ne pourra pas être imputé à une faiblesse de la modalité tactile. De plus, Bryant (1974), dans une critique méthodologique des recherches sur le transfert intermodal, a signalé l'importance d'inclure les conditions intramodales.

Dans la tâche de transfert T-V, nous demandons aux enfants, d'explorer tactilement un objet sans le voir puis, de le reconnaître visuellement en le désignant parmi deux stimuli visuels : la cible et un distracteur.

Enfin, dans la tâche de transfert V-T, les enfants explorent visuellement un objet puis, ils doivent le reconnaître tactilement parmi deux stimuli tactiles : la cible et le distracteur.

Avant de commencer la passation, l'expérimentateur présente la maison et effectue une démonstration à l'aide d'un stimulus « exemple » des trois tâches de transfert avec l'enfant. L'expérimentateur montre à l'enfant comment explorer tactilement la forme en suivant le contour de la forme. L'ensemble des tâches de transfert avec les formes simples et les formes composites sont effectués sans pause. L'épreuve dure environ 30 minutes au total.

Nous allons détailler à présent la procédure au cours de chaque type de transfert.

2.3.1) Transfert Toucher-Toucher

L'enfant place sa main préférée dans la maison et explore tactilement le stimulus pendant 5 secondes (phase de familiarisation). Puis, il place ses deux mains simultanément pour comparer le stimulus cible et le distracteur (phase test). L'enfant montre, en la désignant tactilement, la forme qui correspond à celle qu'il estime avoir touchée en premier.

Nous avons choisi un temps de familiarisation de 5 secondes pour l'exploration tactile de la forme en fonction des résultats de nos pré-expériences auprès d'enfants plus jeunes et en nous référant à l'étude de Stoltz-Loike et Bornstein (1987) réalisée auprès d'enfant de 5 à 7 ans dans laquelle les auteurs présentent dans la modalité tactile des formes géométriques durant 5 secondes pour un transfert T-V et T-T.

Le temps de réponse pour tous les types de transfert n'est pas limité mais le temps est chronométré et enregistré. L'expérimentateur exige toujours une réponse de l'enfant. La réponse est cotée en bonne ou mauvaise réponse.

2.3.2) Transfert Toucher-Vision

L'enfant place sa main préférée dans la maison pour toucher la forme pendant 5 secondes (phase de familiarisation). Puis, la forme est retirée et nous lui montrons deux dessins : le dessin de la forme touchée, stimuli visuel cible, et un distracteur (phase test). L'enfant pointe du doigt la forme qu'il pense avoir reconnue. Lors de la présentation visuelle, les dessins sont présentés à 60 cm des yeux de l'enfant.

2.3.3) *Transfert Vision-Toucher*

L'enfant observe une image cible pendant 2 secondes. Puis, il insère ses deux mains dans la maison et touche deux formes (celle qu'il vient de voir et un distracteur). L'enfant montre, en la touchant, la forme qui correspond à celle qu'il estime avoir vue.

Nous avons choisi un temps de familiarisation de 2 secondes car la prise d'information dans la modalité visuelle est très rapide. Ce temps est utilisé dans l'étude de Stoltz-Loike et Bornstein (1987) auprès d'enfant de 5 à 7 ans pour le transfert V-T et V-V de formes.

Nous procédons de la même façon pour les formes composites. Les trois transferts (T-T, T-V et V-T) avec les formes simples constituent un apprentissage des formes géométriques qui sont utilisées dans les formes composites. Lors de la reconnaissance des formes composites, ce qui nous intéresse, c'est la capacité des enfants à repérer des rapports topologiques. Il est précisé à l'enfant que cette fois, il ne doit plus reconnaître une forme mais une position. Les temps d'exploration sont doublés puisque l'enfant doit explorer cette fois deux formes : l'exploration tactile dure donc 10 secondes et l'exploration visuelle 4 secondes.

2.4 Plan d'expérience

L'enfant passe trois tâches de transfert (T-T, T-V et V-T) avec les six formes simples et les six formes composites. Nous présentons toujours les formes simples puis les formes composites. L'ordre de passation des trois types de transfert est contrebalancé entre les enfants. L'ordre des stimuli cible est contrebalancé entre les types de transferts et entre les enfants. De même, pour chaque reconnaissance, la position du stimulus cible et du

distracteur est présentée de façon aléatoire à gauche ou à droite. Toutefois, le nombre d'occurrences où le stimulus cible sera à gauche ou à droite est équivalent à chaque type de transfert.

2.5 Variables dépendantes

Pour chaque tâche de transfert, il y a six formes. Nous obtenons alors 18 réponses avec les formes simples et 18 réponses avec les formes composites. Au total, 36 réponses par enfant.

Nous disposons de deux variables dépendantes : le nombre de bonnes réponses et le temps de latence de la réponse (temps entre la présentation de l'image et la réponse de l'enfant pour la modalité visuelle et temps entre le début de la présentation de la ou des formes et la réponse de l'enfant pour la modalité tactile).

2.6 Plan d'analyse

Les 77 sujets sont répartis en 5 groupes d'âges. Tous les sujets sont confrontés aux 3 types de transfert avec une forme, puis deux formes.

Le plan est donc le suivant : $S \times G \times B \times E$, où S est le facteur aléatoire sujet, G le facteur « âge : 4, 5, 6, 7, 8 ans », B le facteur systématique « complexité du stimulus : formes simples/formes composites » et E le facteur « type de transfert : T-T, T-V, V-T ».

3. Résultats

Pour la présentation des résultats, nous analyserons, dans un premier temps, les bonnes réponses en regardant s'il existe des différences entre les types de transfert pour les formes simples puis les formes composites. Nous suivrons cette même procédure pour analyser dans un second temps les temps de réponse. Les analyses statistiques sont effectuées avec le logiciel Statistica, les analyses de variances avec une Anova et les comparaisons planifiées avec le test LSD.

3.1 Analyse des bonnes réponses

Les figures 6 et 7 présentent l'évolution des bonnes réponses des sujets par âge et par type de transfert dans la condition forme simple (Fig. 9) et dans la condition forme composite (Fig.10). Le détail des chiffres est présenté en annexe B.

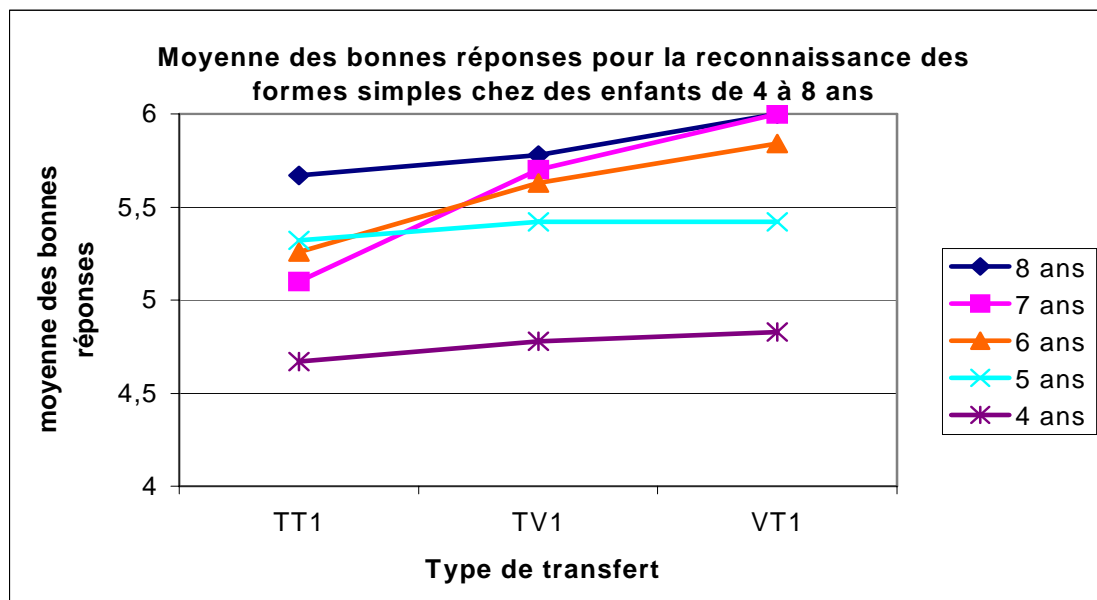


Figure 9 : Moyenne des bonnes réponses à 6 items par âge et par type de transfert (T-T, T-V et V-T) pour les formes simples.

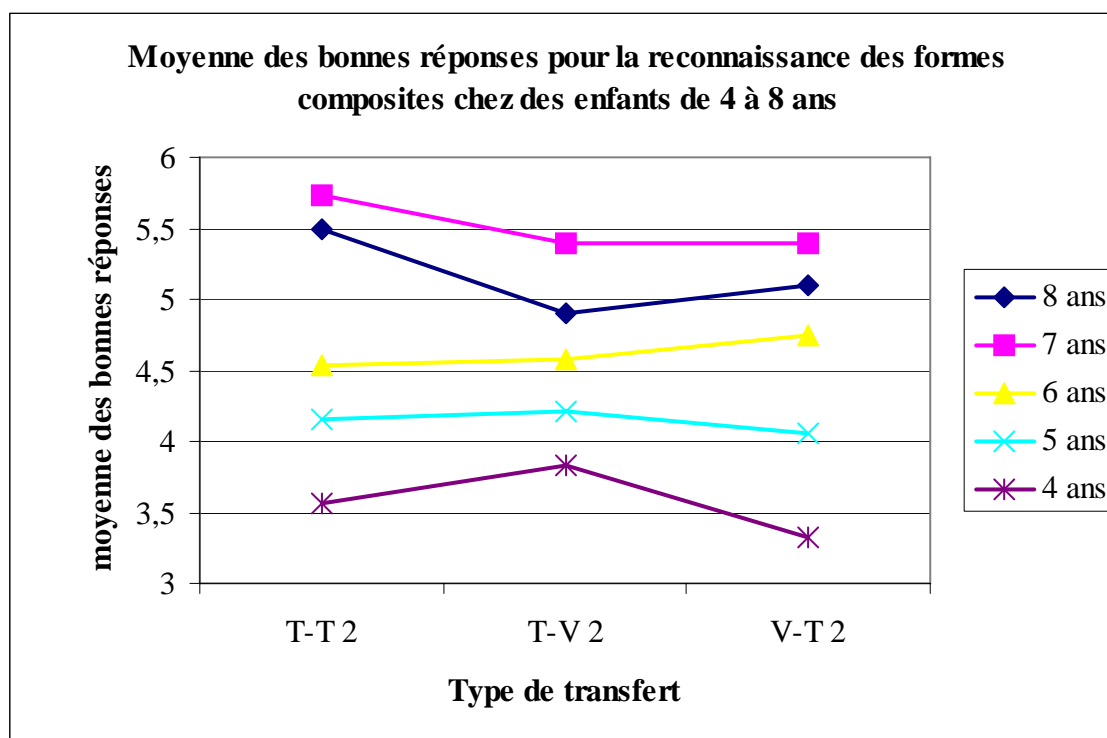


Figure 10 : Moyenne des bonnes réponses à 6 items par âge et par type de transfert (T-T, T-V et V-T) pour les formes composites.

3.1.1) Comparaison entre types de transfert

A) Formes simples

Sur la figure 9, nous observons que les performances des enfants de 4 ans sont nettement inférieures aux enfants de 5, 6, 7 et 8 ans qui ont des performances proches. D'autre part, les trois transferts semblent équivalents, excepté pour les enfants de 6 et 7 ans. L'analyse de la variance que nous avons réalisée pour le plan 5 (Age : 4 vs. 5 vs. 6 vs. 7 vs. 8) X 3 (Type de transfert : T-T vs. T-V vs. V-T) révèle un effet de l'Age [$F(4,72)=12,30$, $p=.000$] et un effet tendanciel du Type de transfert [$F(2,144)=2,58$, $p=.079$]. L'interaction n'est pas significative.

L'analyse post-hoc de l'effet de l'Age confirme nos observations. Les enfants de 4 ans ont des performances significativement inférieures aux enfants de 5, 6, 7 et 8 ans

($p=.000$). On note également des performances significativement inférieures des enfants de 5 ans par rapport aux enfants de 8 ans ($p=.009$). Les autres différences entre les âges ne sont pas statistiquement différentes.

L'analyse post-hoc de l'effet du **Type de transfert** montre que, tous âges confondus, la réussite des enfants au transfert T-T est moins bonne qu'au transfert V-T [$F(1,72)=5$, $p=.028$]. Nous ne retrouvons pas de différences significatives entre les performances aux transferts T-T et T-V, ainsi qu'entre les performances aux transferts T-V et V-T. L'analyse par âge montre que seuls les enfants de 6 ans présentent un taux de réussite inférieur au transfert T-T par rapport au transfert V-T.

B) Formes composites

La figure 10 montre une évolution régulière des performances des enfants de 4 à 8 ans, avec toutefois des performances des enfants de 7 ans supérieures à celles des enfants de 8 ans. En ce qui concerne les différents type de transfert, les performances semblent équivalentes sauf pour les enfants de 4 et 8 ans. L'analyse de la variance du plan 5 (Age : 4 vs. 5 vs. 6 vs. 7 vs. 8) X 3 (Type de transfert : TT vs. TV vs. VT) montre là encore un effet de l'Age [$F(4,72)=14,55$, $p=.000$]. Nous ne retrouvons pas d'effet du Type de transfert.

L'analyse post-hoc de l'effet de l'**Age** confirme notre observation. Les performances des enfants de 4 ans sont significativement différentes de celles des enfants de 5 ans ($p=.025$), ainsi que celles des enfants de 5 ans différentes de celles des enfants de 7 ans ($p=.000$), et celles des enfants de 6 ans différentes de celles des enfants 7 ans ($p=.003$). En revanche, les enfants de 5 et 6 ans et de 7 et 8 ans ont des performances équivalentes. Les performances des enfants de 7 ans ne pouvant donc pas être considérés comme supérieures à celles des enfants de 8 ans.

En ce qui concerne le **Type de transfert**, les performances sont équivalentes à tous les âges même pour les enfants de 4 où l'on observait de meilleures performances en T-V qu'en V-T et les enfants de 8 ans où l'on observait de meilleures performances en T-T qu'en TV.

D'autre part, il n'y a pas d'effet d'ordre de présentation des types de transfert pour les formes simples comme pour les formes composites.

A présent, nous allons détailler les résultats des bonnes réponses pour chaque transfert T-T, T-V puis V-T.

3.1.2) Transfert Toucher-Toucher

Les figures 9 et 10 montrent que les performances relevées lors de la présentation des formes composites sont inférieures à celles relevées pour les formes simples chez les enfants de 4, 5 et 6 ans. Après analyse de la variance pour le plan 5 (Age : 4 vs. 5 vs. 6 vs. 7 vs. 8) X 2 (Complexité du stimulus : formes simples vs. composites). Nous relevons un effet de l'Age [$F(4,72)=12,47$, $p=.000$], de la Complexité du stimulus [$F(1,72)=12,51$, $p=.000$] et de l'interaction Age X Complexité du stimulus [$F(4,72)=0,93$, $p=.024$].

L'analyse post-hoc de l'effet de l'**Age** apporte les conclusions suivantes :

1. Concernant les **formes simples**, les enfants de 4 ans reconnaissent moins de formes que les enfants de 5 ans ($p=.042$). En revanche, les performances des enfants de 5 à 8 ans ne sont pas statistiquement différentes.
2. Concernant les **formes composites**, les enfants de 4 ans reconnaissent moins de combinaisons de formes que les enfants de 5 ans ($p=.05$) et que les enfants de 6 ans ($p=.002$). De moins bonnes performances chez les enfants de 6 ans sont également observées, comparées à celles des enfants de 7 ans ($p=.001$). En revanche, les performances

entre les enfants de 5 et 6 ans, d'une part, et de 7 et 8 ans, d'autre part, ne sont pas statistiquement différentes.

L'analyse post-hoc de l'effet de la **Complexité du stimulus** montre que le nombre de bonnes réponses pour la reconnaissance des formes composites est significativement plus faible que pour la reconnaissance des formes simples à 4 ans ($p=.000$), à 5 ans ($p=.000$) et à 6 ans ($p=.020$). En revanche, il n'y a pas de différence à 7 et 8 ans.

L'analyse de l'interaction entre l'Age et la Complexité du stimulus montre que les enfants de 7 ans ne sont pas sensibles à la complexité du stimulus alors que les enfants de 4, 5, 6 et 8 ans le sont (voir Figure 11). Les enfants de 7 montrent des performances équivalentes dans la reconnaissance des formes simples ou composites, alors que les enfants de 4, 5, 6 et 8 ans ont de meilleures performances avec les formes simples qu'avec les formes composites [$F(1,72)=13,39$; $p=.000$].

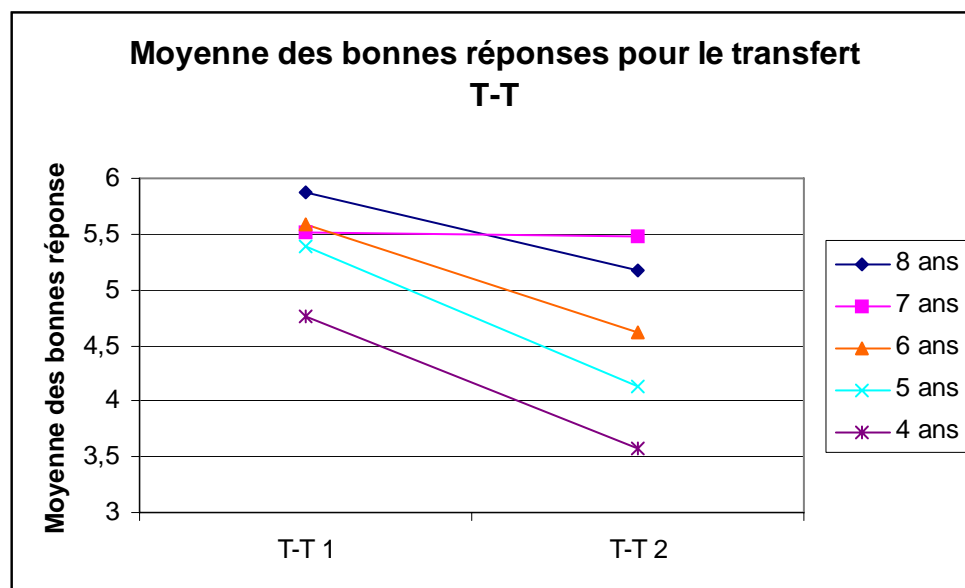


Figure 11 : Moyennes des performances pour tous les types de transfert pour les formes simples et les formes composites par âge.

3.1.3) Transfert Toucher-Vision

Pour le transfert T-V, on observe des performances inférieures pour la reconnaissance de formes composites par rapport aux formes simples, excepté pour les enfants de 7 ans. Nous avons réalisé une analyse de la variance pour le plan 5 (Age : 4 vs. 5 vs. 6 vs. 7 vs. 8) X 2 (Complexité du stimulus : formes simples vs. composites) qui révèle un effet de l'Age [$F(4,72)=4,43$, $p=.002$] et de la Complexité du stimulus [$F(1,72)=22,24$, $p=.000$]. L'interaction est sans effet.

L'analyse post-hoc de l'effet de l'**Age** montre que :

1. La reconnaissance des **formes simples** est moins bonne chez les enfants de 4 ans que chez ceux de 5 ans ($p=.06$) et 6 ans ($p=.014$). En revanche, les performances des enfants de 5 à 8 ans ne sont pas statistiquement différentes.
2. La reconnaissance des **formes composites** chez les enfants de 4 ans est moins performante que chez les enfants de 6 ans ($p=.032$). Nous observons également de moins bonnes performances chez les enfants de 5 ans comparativement à ceux de 7 ans ($p=.004$), ainsi que chez les enfants de 6 ans par rapport aux enfants de 7 ans ($p=.05$). En revanche, la comparaison des performances entre les groupes de 4 et 5 ans n'est pas significative, de même que pour les groupes de 5 et 6 ans, ainsi que de 7 et 8 ans.

L'analyse post-hoc de l'effet de la **Complexité du stimulus** montre que le nombre de bonnes réponses pour la reconnaissance des formes composites est significativement moins élevé que pour la reconnaissance des formes simples à 4 ans ($p=.008$), à 5 ans ($p=.000$), à 6 ans ($p=.002$) et à 8 ans ($p=.03$). En revanche, il n'y a pas de différence entre la reconnaissance de ces deux types de formes à 7 ans.

3.1.4) Transfert Vision-Toucher

Une analyse de la variance pour le plan 5 (Age : 4 vs. 5 vs. 6 vs. 7 vs. 8) X 2 (Complexité du stimulus : formes simples vs. composites) a été effectuée sur les bonnes réponses. Elle révèle un effet de l'Age [$F(4,72)=15,88$, $p=.000$] et de la Complexité de stimulus [$F(1,72)=39,98$, $p=.000$]. Nous ne retrouvons pas d'interaction significative.

L'analyse post-hoc de l'effet de l'**Age** montre quant à elle que :

1. Les **formes simples** sont moins bien reconnus à 4 ans qu'à 6 ans ($p=.003$). En revanche, les performances entre les enfants de 4 et 5 ans ne sont pas statistiquement différentes, tout comme entre 5 à 8 ans.
2. Les **formes composites** sont moins bien reconnues à 4 ans qu'à 5 ans ($p=.03$). On observe cette fois de moins bonnes performances chez les enfants de 5 ans si on les compare aux enfants de 6 ans ($p=.04$) et chez les enfants de 5 ans par rapport à ceux de 8 ans ($p=.01$). En revanche, les performances des groupes de 6 et 8 ans ne sont pas statistiquement différentes.

L'analyse post-hoc de l'effet de la **Complexité du stimulus** montre que le nombre de bonnes réponses pour la reconnaissance des formes simples est significativement plus élevé que pour la reconnaissance des formes composites à 4 ans ($p=.000$), 5 ans ($p=.000$), 6 ans ($p=.001$) et 8 ans ($p=.05$). En revanche, il n'y a pas de différence de reconnaissance de ces deux types de formes à 7 ans.

En résumé les analyses statistiques indiquent que :

1. les enfants sont plus performants dans la reconnaissance des formes simples à 5-6 ans qu'à 4 ans.
2. Ce n'est qu'à partir de 7 ans que nous observons une amélioration nette des performances pour la reconnaissance des formes composites.
3. La reconnaissance des formes composites s'avère plus difficile que la reconnaissance des formes simples à tous les âges à l'exception des enfants de 7 ans.
4. Le transfert T-T est légèrement inférieur au transfert T-V pour les formes simples.
5. Il n'y a pas d'effet du type de transfert pour les formes composites.

3.2 Analyse des temps de réponse

Les figures 12 et 13 présentent les moyennes des temps de réponse des enfants (en secondes) par âge et par type de transfert dans la condition forme simple et dans la condition forme composite. Le détail des chiffres est présenté en annexe C.

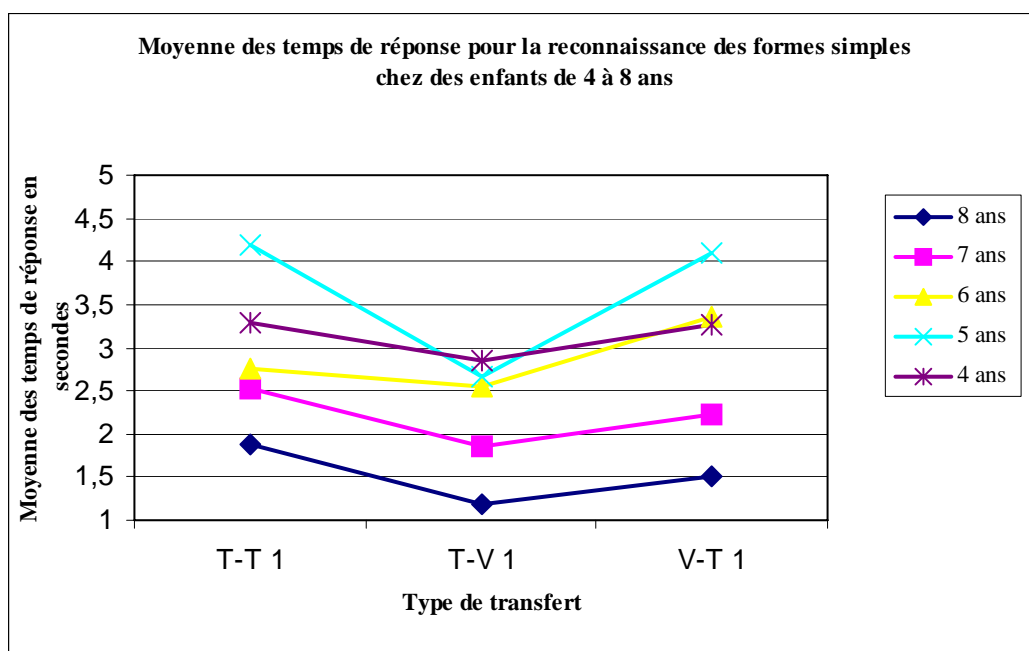


Figure 12 : Moyenne des temps de réponses à 6 items par âge et par type de transfert (T-T, T-V et V-T) pour les formes simples.

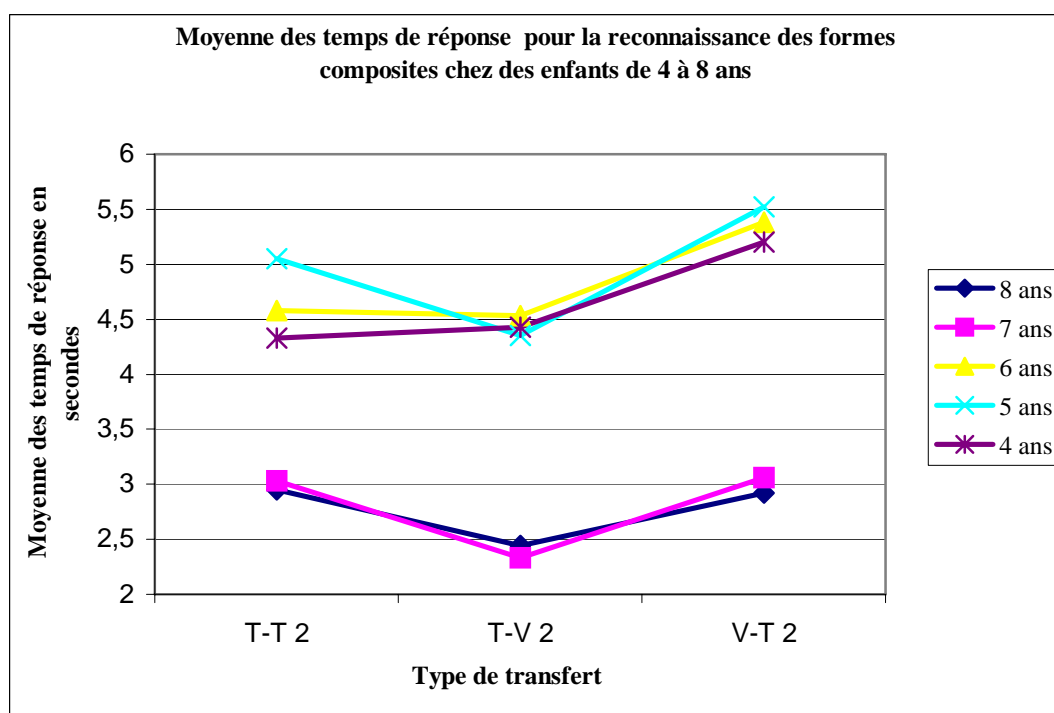


Figure 13 : Moyenne des temps de réponses à 6 items par âge et par type de transfert (T-T, T-V et V-T) pour les formes composites.

3.2.1) Comparaison entre types de transfert

A) Formes simples

La figure 12 montre une diminution assez linéaire des temps de réponses avec l'âge. On remarque d'une façon générale des temps de réponse plus courts pour le transfert T-V que T-T ou V-T. Nous avons effectué une analyse de la variance pour le plan 5 (Age : 4 vs. 5 vs. 6 vs. 7 vs. 8) X 3 (Type de transfert : T-T vs. T-V vs. V-T). Elle révèle un effet de l'Age [$F(4,72)=6,82$, $p=.000$] et un effet du Type de transfert [$F(2,144)=4,50$, $p=.013$]. L'interaction n'est pas significative.

L'analyse post-hoc de l'effet de l'**Age** indique que les temps de réponses des enfants de 4 et 5 ans sont équivalentes pour l'ensemble des trois transferts bien que l'on observe des temps de réponses plus longs chez les enfants de 5 ans pour les transferts T-T et V-T. Les temps de réponses des enfants de 4 ans sont significativement plus longs que ceux des enfants de 7 ans ($p=.036$) et 8 ans ($p=.000$) ; les temps de réponses des enfants de 5 ans sont significativement plus longs que ceux des enfants de 6 ans ($p=.046$), 7 ans ($p=.001$) et 8 ans ($p=.000$) ; et les temps de réponses des enfants de 6 ans sont significativement plus longs que ceux des enfants de 8 ans ($p=.003$). Pour finir, les temps de réponses des enfants de 7 et 8 ans sont équivalents. On observe donc bien une diminution des temps de réponses avec l'âge entre 4 et 8 ans.

L'analyse post-hoc de l'effet du **Type de transfert** montre que, tous âges confondus, les temps de réponse sont plus longs lorsqu'un transfert T-T ou V-T est requis, par rapport à un transfert T-V [$F(1,72)=6,37$, $p=.014$] ; [$F(1,72)=8,08$, $p=.006$]. Par ailleurs, il n'y a pas de différence significative entre les temps de réponse enregistrés aux transferts T-T et V-T. Toutefois, l'analyse détaillé par âge, nous indique que seul les enfants de 5 ans présentent des différences significatives entre les temps de réponses au

transfert T-T et T-V ($p=.003$), T-V et V-T ($p=.006$). Ainsi, l'analyse statistique montrant que les temps de réponses au transfert T-V sont plus courts pour l'ensemble des enfants est à considérer comme une tendance générale et non un effet.

B) Formes composites

Nous observons sur la figure 13 deux groupes distincts. Les enfants de 4, 5 et 6 ans présentent des temps de réponses plus longs que les enfants de 7 et 8 ans. D'une façon générale, le transfert T-V semble le plus rapide. L'analyse de la variance pour le plan 5 (Age : 4 vs. 5 vs. 6 vs. 7 vs. 8) X 3 (Type de transfert : T-T vs. T-V vs. V-T) révèle un effet de l'Age [$F(4,72)=5,96$, $p=.000$] et un effet du Type de transfert [$F(2,144)=3,62$, $p=.029$]. L'interaction n'est pas significative.

L'analyse post-hoc de l'effet de l'**Age** confirme qu'il n'y a pas de différences entre les temps de réponses des enfants de 4, 5 et 6 ans, ainsi qu'entre les enfants de 7 et 8 ans. Les temps de réponses des enfants de 4, 5 et 6 ans sont plus longs que ceux des enfants de 7 (respectivement, $p=.004$; $p=.000$; $p=.002$) et 8 ans (respectivement, $p=.005$; $p=.000$; $p=.002$).

L'analyse post-hoc de l'effet du **Type de transfert** confirme que, tous âges confondus, les temps de réponse requérant un transfert T-V sont plus courts que pour un transfert V-T [$F(1,72)=7,87$, $p=.006$]. Par ailleurs, la différence entre les temps de réponse aux transferts T-T et T-V, ainsi qu'aux transferts T-T et V-T n'est pas significative. Toutefois, l'analyse détaillée par âge, indique, comme pour les formes simples, que seul les enfants de 5 ans présentent une différence significative entre les temps de réponses au transfert T-V et V-T ($p=.040$). Ce qui signifie une tendance et non un effet.

L'ordre de présentation des types de transfert n'a pas d'effet.

A présent, nous allons détailler les résultats des temps de réponses par type de transfert et décrire l'effet de l'âge et de la complexité du stimulus (formes simples vs. composites).

Sur les figures 12 et 13, pour les trois transferts, on remarque des temps de réponses des enfants de 5 ans supérieures à ceux des enfants de 4 ans pour les formes simples et les formes composites. On observe également des temps de réponses plus long pour les formes composites que pour les formes simples.

3.2.2) *Transfert Toucher-Toucher*

Une analyse de la variance pour le plan 5 (Age : 4 vs. 5 vs. 6 vs. 7 vs. 8) X 2 (Complexité du stimulus : formes simples vs. composites) a été effectuée sur les temps de réponse. Elle révèle un effet de l'Age [$F(4,72)=3,31$, $p=.0149$] et de la Complexité du stimulus [$F(1,72)=23,48$, $p=.000$]. L'interaction n'est pas significative.

L'analyse post-hoc de l'effet de l'**Age** montre que :

1. pour la reconnaissance des **formes simples**, comme nous l'avons remarqué sur la figure 9, les enfants de 5 ans sont les plus lents à répondre mais il n'y a pas de différences avec les enfants de 4 ans. En revanche, les temps de réponses des enfants de 5 ans sont significativement plus longs que ceux des enfants de 6 ans ($p=.026$), 7 ans ($p=.028$) et 8 ans ($p=.004$). Les temps de réponse des enfants de 4, 6, 7 et 8 ans ne sont pas statistiquement différents.
2. pour la reconnaissance des **formes composites**, les temps de réponse des enfants de 4, 5 et 6 ans sont équivalents, comme nous l'avons observé sur l'ensemble des transferts. Toutefois, nous avons signalé que, comme pour les formes simples, les temps de réponse des enfants de 5 ans étaient plus longs que les enfants de 4 ans mais la différence n'est pas significative. Les temps de réponses des enfants de 4 ans, ne sont pas non plus différents

significativement de ceux des enfants de 7 et 8 ans. Par contre, les temps de réponses des enfants de 5 et 6 ans sont plus longs que ceux des enfants de 7 (respectivement, $p=.011$; $p=.010$) et 8 ans (respectivement, $p=.048$; $p=.044$).

L'analyse post-hoc de l'effet de la **Complexité du stimulus** montre quant à elle que les temps de réponse pour la reconnaissance des formes composites sont significativement plus élevés que pour la reconnaissance des formes simples à 4 ans ($p=.01$), à 5 ans ($p=.04$) et à 6 ans ($p=.000$). Les groupes de 7 et 8 ans présentent des temps de réponses équivalents.

3.2.3) *Transfert Toucher-Vision*

L'analyse de la variance pour le plan 5 sur les temps de réponse (Age : 4 vs. 5 vs. 6 vs. 7 vs. 8) X 2 (Complexité du stimulus : formes simples vs. composites) montre également un effet de l'Age [$F(4,72)=4,38$, $p=.003$] et de la Complexité du stimulus [$F(1,72)=52$, $p=.000$] en l'absence d'effet d'interaction.

L'analyse post-hoc de l'effet de l'**Age** permet les observations suivantes :

1. Concernant les **formes simples**, les enfants de 4, 5 et 6 ans, ainsi que les enfants de 7 et 8 ans ont des temps de réponse équivalents. Les enfants de 4 et 5 ans sont plus lents à répondre que ceux de 7 ans (respectivement, $p=.025$; $p=.000$), et les enfants de 6 ans, plus lents à répondre que ceux de 8 ans ($p=.003$).
2. Concernant les **formes composites**, nous retrouvons le même profil, les enfants de 4, 5 et 6 ans, ainsi que les enfants de 7 et 8 ans ont des temps de réponse équivalents. Les enfants de 4, 5 et 6 ans sont plus lents à répondre que ceux de 7 ans (respectivement, $p=.011$; $p=.014$; $p=.007$), et 8 ans (respectivement, $p=.019$; $p=.023$; $p=.013$).

L'analyse post-hoc de l'effet de la **Complexité du stimulus** montre que le temps de réponse pour la reconnaissance des formes composites est significativement plus élevé que

pour la reconnaissance des formes simples à 4 ans ($p=.000$), à 5 ans ($p=.000$), à 6 ans ($p=.000$) et à 8 ans ($p=.017$). Les enfants de 7 ans répondent dans des délais similaires aux deux types de formes.

3.2.4) *Transfert Vision-Toucher*

L'analyse de la variance pour le plan 5 (Age : 4 vs. 5 vs. 6 vs. 7 vs. 8) X 2 (Complexité du stimulus : formes simples vs. composites) révèle un effet de l'Age [$F(4,72)=5,08$, $p=.001$] et de la Complexité de stimulus [$F(1,72)=29,26$, $p=.000$] sans effet d'interaction.

L'analyse post-hoc de l'effet de l'**Age** met à nouveau en évidence nos deux groupes :

1. pour les **formes simples**, les temps de réponse entre les enfants de 4, 5 et 6 ans, ainsi qu'entre les enfants de 7 et 8 ans équivalents. Les enfants de 4 ans et 6 ans sont plus longs à répondre que les enfants de 8 ans (respectivement, $p=.022$; $p=.016$), et les enfants de 5 ans, plus longs que les enfants de 7 ans ($p=.013$) et 8 ans ($p=.00$).
2. de même pour les **formes composites**, les temps de réponses entre les enfants de 4, 5 et 6 ans, ainsi qu'entre les enfants de 7 et 8 ans sont équivalents. Les enfants de 4, 5 et 6 ans sont plus lents à répondre que les enfants de 7 ans (respectivement, $p=.023$; $p=.009$; $p=.013$) et 8 ans (respectivement, $p=.019$; $p=.007$; $p=.011$).

D'après, l'analyse post-hoc de l'effet de la **Complexité du stimulus**, le temps de réponse pour la reconnaissance des formes composites est significativement plus élevé que pour la reconnaissance des formes simples à 4 ans ($p=.000$), à 5 ans ($p=.010$), à 6 ans ($p=.000$) et tendanciel à 8 ans ($p=.063$). Les enfants de 7 ans ne présentant pas de différence de latence entre les différentes situations.

En résumé, l'analyse statistique des temps de réponse va dans le sens des résultats de l'analyse des bonnes réponses : en premier lieu, les temps de reconnaissance des formes composites par rapport aux formes simples s'avèrent plus longs à tous les âges à l'exception des 7 ans, en second lieu, les temps de réponse pour les formes composites évoluent nettement à partir de 7 ans.

Dans l'ensemble, nous observons une diminution assez linéaire avec l'âge du temps de réponse à l'exception des enfants de 4 ans qui sont plus rapides mais moins performants que les enfants de 5 ans.

La comparaison des différents types de transferts indique que les temps de réponse au transfert T-V sont plus courts qu'aux transferts T-T et V-T, pour les formes simples. Pour les formes composites, seul le transfert V-T requiert un temps de latence accru. Toutefois, il s'agit d'une tendance générale, qui va dans le sens de l'analyse des bonnes réponses effectuée précédemment, qui montrait des performances équivalentes pour les trois transferts.

4. Discussion

Dans cette étude, nous nous attendions à observer une évolution des performances de transfert avec l'âge comme décrit dans les recherches. C'est effectivement ce que nous observons avec une amélioration des performances concomitantes avec une diminution des temps de réponses. Nous allons détailler les résultats pour les formes simples et les formes composites.

Pour les formes simples, les résultats de notre expérience montrent une évolution du transfert T-V de 4 à 8 ans avec une forte progression entre 4 et 5 ans puis un plafonnement vers 7-8 ans. En introduction, nous avons évoqué les difficultés du jeune enfant de 3-4 ans dans la procédure d'exploration, celle-ci n'étant pas encore efficace pour une prise d'information optimale (Piaget et Inhelder, 1947 ; Lederman et Klatzky, 1987). Les résultats de notre étude le confirment. Les plus jeunes enfants tentaient d'agripper la forme et ne répondaient pas à la demande de suivre le contour de l'objet, pourtant expliquée et montrée pendant la période de familiarisation du matériel. Hatwell (1986) décrit également cet évolution de comportement : à 3-4 ans, la main demeure souvent immobile et se contente de serrer le stimulus dans une prise palmaire peu appropriée à l'évaluation de sa forme et de sa grandeur, puis vers 4-5 ans, il y a l'apparition de quelques mouvements digitaux et enfin vers 6 ans une généralisation de ce comportement avec la mobilisation bi-manuelle. Les déplacements s'organisent alors le long des contours avec une prise de points de repère et une insistance sur les zones à valeurs informative. Cette description est tout à fait en accord avec nos résultats et expliquer ce saut autour de 4-5 ans

Par ailleurs, nos résultats montrent que dès 5 ans, les trois types de transfert sont très bien réussis pour les formes géométriques simples. Ce résultat est à mettre en parallèle

avec les études effectuées sur la reconnaissance haptique d'objets familiers (Giannopulu et al, 2007 ; Bushnell et Baxt, 1999) qui montre que dès 5 ans la reconnaissance est presque parfaite. Ces observations laissent supposer que, d'une part, l'exploration haptique est suffisamment fonctionnelle à 5 ans pour une prise d'information efficace, et, d'autre part, que la connaissance des formes géométriques à 5 ans est équivalente à celles d'objets familiers.

En ce qui concerne les formes composites, nos résultats montrent également une évolution de 4 à 8 ans mais contrairement aux formes simples, les performances évoluent nettement à partir de 6-7 ans, alors que le saut se situait entre 4 et 5 pour les formes simples. Cette différence d'âge se situe entre la fin de la Grande Section de Maternelle et le CP. A cet âge, l'enfant commence l'apprentissage de la lecture et donc le traitement des symboles (les lettres) qui possèdent une orientation spécifique qui permet leur identification. Par exemple, le « p », « q », « b » et « d » sont des figures identiques mais selon leur position, elles représentent une lettre différente. Les résultats de notre expérimentation montrent que le repérage des rapports topologiques n'est pas encore parfaitement maîtrisé à 6-7 ans, ce qui peut expliquer les inversions visuelles fréquentes chez les apprentis lecteurs. Dans le même sens, Gibson et coll (1962) ont testé la perception visuelle de stimulus avec des contours sans signification « semblables à des lettres » chez des enfants de 4 à 8 ans. Ceux-ci devaient comparer un modèle à des variantes sur la base de transformation topologique. Ils ont trouvé que dès 4 ans les changements topologiques sont reconnus comme pertinents mais que ce n'est que vers 5-6 ans qu'ils observent une diminution des confusions entre figures orientées. Ils suggèrent que les progrès, entre 5 et 6 ans, des jugements sur l'orientation des formes seraient consécutifs à l'apprentissage de la lecture.

En accord avec nos premières attentes, l'amélioration des performances pour la reconnaissance des formes simples semble dépendre de l'évolution des capacités d'exploration tactile comme il a été décrit dans la littérature (Piaget et Inhelder, 1947; Hatwell, 1986; Lederman & Klatzky, 1987), et l'amélioration des performances pour les formes composites nécessite des capacités supplémentaires de traitement des rapports topologiques qui s'acquiert plus tardivement.

Nous avons également émis l'hypothèse d'une augmentation du nombre d'erreurs et du temps de réponse pour les formes composites par rapport aux formes simples car la reconnaissance des formes composites demande de traiter des informations en plus grande quantité, mais également de traiter la position des deux formes l'une par rapport à l'autre. Nos résultats confirment cette hypothèse. La reconnaissance des formes composites était plus difficile et nécessitait significativement plus de temps. Cette augmentation du temps est en accord avec une étude (Wohlwill, 1975) qui portait sur la complexité de formes. Il a pu observer que la durée de l'exploration tactile d'un stimulus augmentait de façon linéaire avec le degré de complexité chez des enfants de 8 à 12 ans. Toutefois, si nous regardons les résultats âge par âge, nous observons que les enfants de 7 ans n'ont pas plus de difficultés à reconnaître les formes composites que les formes simples, et leur temps de réponse ne sont pas différents entre les deux types de formes. Nous avons vu précédemment que c'est à partir de 7 ans que les performances pour reconnaître les formes composites évoluaient nettement. Parallèlement ces enfants sont en plein apprentissage de la lecture, et tout d'abord, des lettres qui nécessitent un traitement des orientations. Ce résultat peut refléter une mobilisation intensive des enfants de 7 ans sur l'analyse et l'apprentissage des orientations, alors qu'à 8 ans, l'accent est sur d'autres compétences et l'effet de la complexité du stimulus réapparaît.

En ce qui concerne le type de transfert, nous avons fait l'hypothèse d'un meilleur transfert T-V par rapport aux transferts T-T et VT comme décrit dans les recherches chez les nouveau-nés (Sann et Streri, 2007), les bébés (Streri, 1987 ; Rose et Orlian, 1991) et l'enfant (Stoltz-Loike et Bornstein, 1987). Nos résultats ne montrent pas de différences significatives dans les performances en nombre de bonnes réponses entre le transfert T-T, T-V et V-T. Ces résultats sont en accord avec ceux de Garbin (1988) et Garvill & Molander (1973) qui ont montré que le transfert T-T était comparable au transfert T-V et V-T avec un matériel spatial. Par contre, l'analyse des temps de réponse va dans le sens de notre hypothèse, c'est à dire que les temps de réponses au transfert T-V sont plus courts que les temps de réponses aux transferts T-T et V-T. Toutefois, l'analyse détaillée par âge a montré qu'il s'agissait d'une tendance générale, et que seuls les enfants de 5 ans montraient une différence significative. Ainsi, dans notre étude, nous n'observons pas de différence importante entre les transferts T-T, T-V et V-T de formes géométriques simples ou composites entre 4 et 8 ans. Le fait que les appariements intermodaux (T-V et V-T) soient équivalents aux appariements intra modaux (T-T) indique que l'information apportée par les deux modalités dans nos formes est équivalente dès 4 ans.

A présent, nous allons observer le transfert intra et intermodal entre le toucher et la vision des enfants dyslexiques, dysphasiques et dyspraxiques dont nous comparerons leurs performances avec celles des enfants tout-venant.

Expérience 3 : Etude du transfert intermodal chez les enfants présentant un trouble des apprentissages

1. Introduction

Dans cette troisième expérience, l'objectif est d'évaluer les capacités de transfert intermodal chez des enfants dyslexiques, dysphasiques et dyspraxiques. Et, grâce aux formes composites dont la caractéristique spécifique est d'être un matériel orienté, nous testerons les capacités de perception visuelle et haptique des orientations chez ces enfants.

A partir des résultats de l'étude 1, nous avons pu observer un ralentissement dans les tâches cognitives lors de l'évaluation neuropsychologique. Nous faisons une première hypothèse générale sur un allongement des temps de réponse chez ces enfants par rapport aux enfants témoins.

D'autre part, comme nous l'avons vu en introduction, les données issues de la littérature et nos résultats lors de l'évaluation neuropsychologique, nous permettent d'envisager l'existence de profils cognitifs distincts selon les pathologies présentées par les enfants de nos groupes expérimentaux.

Plus précisément, les enfants dyslexiques présentent des troubles de mémoire de travail ; d'intégration sensorielle audition-vision (Mayringer et Wimmer, 2000 ; Windfuhr et Snowling, 2001 ; Plaza, Cohen, 2003, 2004, 2005) et de traitement temporel séquentiel (Laasonen, Tomma-Halme, Lahti-Nuuttila, Service et Virsu, 2000). Par ailleurs, nous savons que le toucher est un traitement majoritairement séquentiel et que les transferts intra

et intermodaux sont coûteux en mémoire de travail. Nous pouvons donc supposer que les performances des enfants dyslexiques dans la modalité haptique seront plus faibles que celles des enfants témoins, et de façon plus marquées pour les formes composites qui requièrent une quantité plus importantes d'informations à traiter et à garder en mémoire. De plus, en ce qui concerne ces formes composites, nous faisons également l'hypothèse que les enfants dyslexiques vont moins bien reconnaître les formes composites orientées selon un axe horizontal (droite/gauche) que celles orientées selon un axe vertical (haut/bas). En effet, nous avons vu que des confusions visuelles étaient souvent rapportées chez ces enfants et de plus, dans notre évaluation, ils ont commis des erreurs au test de Reversal dans la reconnaissance de symboles lorsque ceux-ci étaient positionnés en miroir.

Concernant les enfants dysphasiques, ils présentent un trouble important de dénomination. De nombreux auteurs ont cru longtemps que le transfert intermodal ne pouvait se faire sans langage. Toutefois, les études plus récentes chez le nouveau-né et le bébé ont montré que le transfert intermodal entre le toucher et la vision était possible sans langage (Streri et Gentaz, 2003, 2004 ; Sann et Streri, 2007 ; Streri, 1991), celui-ci permettant simplement de renforcer le transfert en aidant la mémorisation. De plus, les études de Montgomery (1993) et Kamhi (1981) réalisées auprès d'enfants présentant des troubles spécifiques du langage ont montré que la reconnaissance haptique était efficace mais qu'ils présentaient des capacités de maintien des informations limitées. Nous pouvons donc nous attendre à des capacités de transfert normales avec de moins bonnes performances pour les formes composites qui requiert plus de mémoire mais aussi en raison des difficultés praxiques de certains enfants observés lors de l'évaluation neuropsychologique.

Enfin, en ce qui concerne les enfants dyspraxiques, l'hypothèse explicative de la dyspraxie étant celle d'un trouble d'intégration sensorielle et nous avons pu observer lors

de l'évaluation des difficultés de motricité fine, de perception spatiale et de planification dans notre groupe. Nous faisons donc l'hypothèse qu'ils seront particulièrement gênés pour explorer tactilement les formes et construire une image mentale correcte afin de les reconnaître. Par ailleurs, du fait de leurs troubles à la fois praxiques et visuo-constructifs, leurs performances pour les formes composites devraient être particulièrement affectées. Nous nous attendons également à ce que leurs temps de réponses soit les plus longs conformément à ce que nous avons observé lors de l'évaluation neuropsychologique où ils ont montré un indice de vitesse de traitement au WISC-III pathologique et le plus faible des trois groupes.

2. Méthode

2.1. Participants

2.1.1) Enfants présentant un trouble des apprentissages.

Dans cette expérience, l'échantillon est constitué des enfants ayant passé l'évaluation neuropsychologique de l'expérience 2. Six enfants dyslexiques et un enfant dyspraxique sont exclus de l'échantillon du fait d'une erreur de l'examineur (les temps de réponses n'ont pas été correctement notés), de même qu'un enfant dysphasique car il a rencontré des difficultés de compréhension des consignes qui n'ont pas permis la passation de la totalité des épreuves.

Les enfants se répartissent à présent ainsi :

- 21 enfants dyslexiques âgés de 9 ans à 12 ans 1 mois (moyenne = 9 ans 11 mois), 20 garçons et 1 filles ;
- 7 enfants dysphasiques âgés de 7 ans à 11 ans 6 mois (moyenne = 8 ans 6 mois), 3 garçons et 4 filles ; et

- 8 enfants dyspraxiques âgés de 6 ans 7 mois à 11 ans 7 mois (moyenne = 9 ans 3 mois), 6 garçons et 2 filles.

2.1.2) Groupe témoin

Nous avons constitué le groupe témoin de notre expérimentation avec les enfants de 7 et 8 ans de la première expérience, auxquels nous comparerons les performances des enfants dyslexiques, dysphasiques et dyspraxiques. Dans cette première expérience, les enfants de 7 et 8 ans obtiennent des performances qui plafonnent tant en exactitude qu'en rapidité de réponse, c'est pourquoi nous les avons sélectionnés pour être le groupe témoin.

Pour rappel, ces enfants de 7 et 8 ans ont été évalués dans deux écoles primaires issues de quartiers favorisé et non favorisé de Paris (3^{ème} et 19^{ème}). Ils avaient été qualifiés par l'instituteur d'élèves sans difficultés d'apprentissage scolaire :

- 11 enfants âgés de 7 ans à 7 ans 10 mois (moyenne = 7 ans 6 mois), 4 garçons et 7 filles ;
- 10 enfants âgés de 8 ans à 8 ans 9 mois (moyenne = 8 ans 6 mois), 7 garçons et 3 filles.

2.2 Matériel

Nous utilisons le matériel constitué pour l'expérience 1 : la maison et les stimuli tactiles et visuels. (cf page 100)

2.3 Procédure

De façon analogue à la procédure mise en place dans l'expérience 2 avec les enfants tout-venant, les enfants de nos groupes expérimentaux effectuent les transferts T-T, T-V et V-T avec les six formes simples puis avec les six formes composites. Le transfert intermodal Vision-Vision n'a pas été proposé car il est très bien réussi chez l'enfant tout-venant et l'étude de Plaza et Cohen (2005) a montré qu'il est aussi bien réalisé par les

enfants dyslexiques. Dans cette étude, les données concernant l'apprentissage d'associations de paires de stimuli en modalité visuelle/visuelle montrent que les enfants dyslexiques présentent le même profil de résultats que les normo-lecteurs.

Les temps de familiarisation proposés aux enfants présentant un trouble des apprentissages sont les mêmes que pour les enfants tout-venant : 5 secondes pour un stimulus tactile simple, 10 secondes pour un stimulus tactile composite, 2 secondes pour un stimulus visuel simple et 4 secondes pour un stimulus visuel composite. L'enfant désigne la forme qu'il estime être celle qu'il a perçue dans la phase de familiarisation. Le temps de réponse est libre et chronométré par l'expérimentateur. Avant de commencer l'expérience, nous présentons le matériel à l'enfant et lui proposons des essais préliminaires afin qu'il comprenne bien la consigne. Nous lui offrons une démonstration de l'exploration tactile par le suivi de contour. Le plan d'expérience et l'ordre des épreuves sont identiques à ceux de l'expérience 2.

2.4 Plan d'analyse

Notre expérience repose sur la participation de 36 sujets répartis en trois groupes correspondant chacun à une pathologie (dyslexie, dysphasie et dyspraxie), et de 21 enfants témoins de 7 et 8 ans. Les trois types de transfert sont proposés aux participants avec les formes simples, puis avec les formes composites.

Le plan est donc le suivant : $S \times G \times B \times E$, où S est le facteur aléatoire sujet, G le facteur « groupe : dyslexie, dysphasie, dyspraxie, témoins », B le facteur systématique « complexité du stimulus : forme simple/formes composites » et E le facteur « type de transfert : T-T, T-V et V-T »

Les variables dépendantes correspondent au nombre de formes reconnues et au temps de réponse pour chaque sujet à chaque item.

3. Résultats

La présentation des résultats suit la même organisation que pour les résultats de l'expérience précédente. Nous allons présenter les performances (nombre de bonnes réponses) et les temps de réponse des formes simples puis des formes composites.

Pour cette expérience, nous détaillerons ensuite stimuli par stimuli les performances et les temps de réponse par groupe, ceci afin d'observer s'il existe un effet de l'orientation des formes composites.

Nous avons réalisé les statistiques à l'aide du logiciel Statistica. Puis, nous avons effectué des analyses ANOVA pour l'ensemble des données dans un premier temps avec le nombre de bonnes réponses et dans un second temps avec les temps de réponses. Enfin, nous avons utilisé le test LSD (comparaison planifiée) pour une analyse détaillé post hoc.

3.1. Analyse des bonnes réponses

Les figures 14 et 15 présentent les moyennes des bonnes réponses des enfants dyslexiques, dysphasiques, dyspraxiques et témoins, par type de transfert avec les formes simples puis les formes composites. Le détail des chiffres est présentée en annexe D.

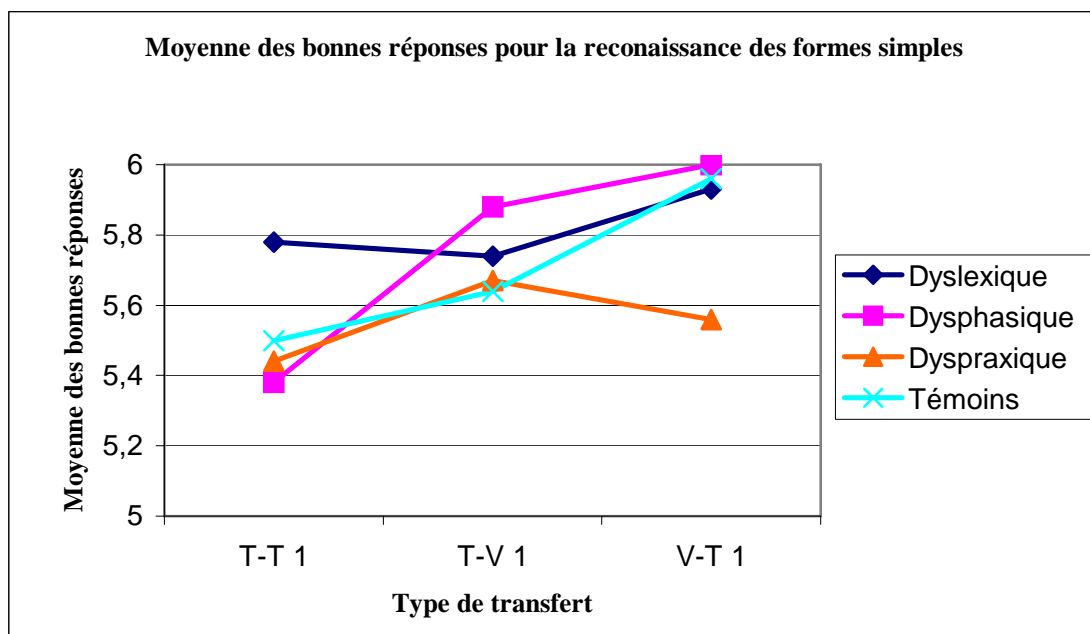


Figure 14: Moyenne des bonnes réponses à 6 items par groupe et par type de transfert (T-T, T-V et V-T) pour les formes simples.

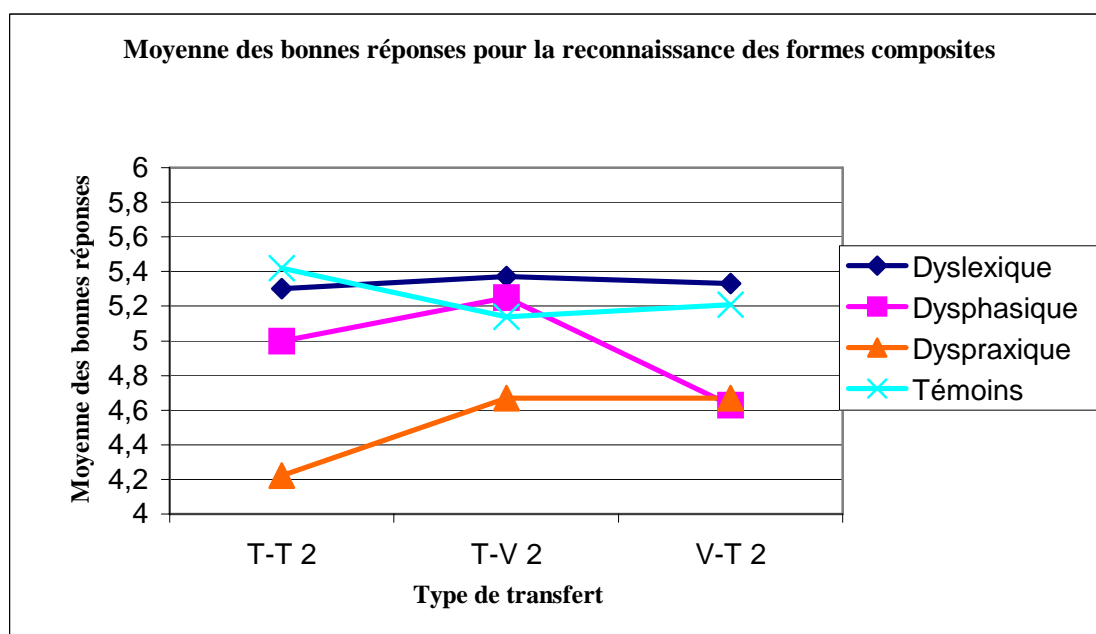


Figure 15 : Moyenne des bonnes réponses à 6 items par groupe et par type de transfert (T-T, T-V et V-T) pour les formes composites.

3.1.1) Comparaison entre types de transfert

A) Formes simples

Sur la figure 14, nous observons que les performances des enfants sont diverses selon les type de transfert. Le enfants dyslexiques semblent plus performants que les autres au transfert T-T et les enfants dyspraxiques semblent plus en difficulté que les autres au transfert V-T. Les performances des 4 groupes semblent équivalentes au transfert T-V. Les enfants dysphasiques et témoins montrent des performances au transfert V-T supérieures au transfert T-V, elles-mêmes supérieures au transfert T-T.

Nous avons effectué une analyse de la variance sur les bonnes réponses pour les formes simples dont le plan est 4 (Groupe : dyslexiques vs. dysphasiques vs. dyspraxiques vs. témoins) X 3 (Type de transfert : T-T vs. T-V vs. V-T). Cette analyse révèle un effet du Type de transfert [$F(2,136)=4,33$, $p=.015$] mais nous ne retrouvons pas d'effet de Groupe ni d'interaction.

L'analyse post-hoc de l'effet du **Type de transfert** montre que les performances pour tous groupes confondus, s'ordonne ainsi, $T-T < T-V < V-T$. Plus précisément, le transfert T-T est moins bien réussis que le transfert T-V ($p=.036$) et que le transfert T-T ($p=.000$). En revanche, il n'y a pas de différences significatives entre le transfert T-V et V-T. Si l'on regarde groupe par groupe, l'analyse montre des performances équivalentes aux trois transferts pour les enfants dyslexiques et dyspraxiques. Par contre, pour les enfants témoins et dysphasiques, nos observations sont confirmés, les performances pour le transfert T-T sont inférieures à celles du transfert V-T ($p=.004$; $p=.037$). Pour les enfants témoins, nous avons également des performances au transfert T-T inférieures à celles du transfert T-V ($p=.020$) mais pas pour les enfants dysphasiques

B) Formes composites

Sur la figure 15, nous observons également des performances très variables selon les groupes et les types de transfert. Les performances des enfants dyspraxiques sont inférieures à celles des enfants dyslexiques et témoins aux trois transferts. Leurs performances sont également inférieures à celles des enfants dysphasiques mais uniquement pour les transferts T-T et T-V. En ce qui concerne les types de transfert, les enfants dyspraxiques présentent un profil de performances où $T-T < T-V = V-T$.

Les performances des enfants dysphasiques aux transferts T-T et T-V semblent équivalentes à celles des enfants dyslexiques et témoins. Les performances au transfert V-T sont inférieures. Leur profil selon le type de transfert montre $V-T < T-T$ et $T-V$.

Les enfants dyslexiques et témoins semblent avoir des performances équivalentes. Leur profil selon le type de transfert semble également équivalent $T-T = T-V = V-T$.

Une analyse de la variance est cette fois réalisée pour les formes composites dont le plan est 4 (Groupe : dyslexiques vs. dysphasiques vs. dyspraxiques vs. témoins) X 3 (Type de transfert : T-T vs. T-V vs. V-T). Un effet de Groupe [$F(3,68)=4,12$, $p=.010$] est ici observé, en l'absence d'effet du Type de transfert, ni d'interaction.

Les performances, tous transferts confondus, des enfants dyspraxiques sont inférieures à celles des enfants témoins ($p=.004$) et dyslexiques ($p=.001$). Les performances des enfants dysphasiques, dyslexiques et témoins sont équivalentes.

Contrairement à l'observation que nous avons pu faire sur les différences de performances entre les transferts T-V et V-T chez les enfants dysphasiques, cet écart n'est pas significatif. De même, pour les enfants dyspraxiques, leurs performances au transfert T-T ne sont pas significativement inférieures à celles aux transferts T-V et V-T.

A présent, nous allons détailler les performances transfert par transfert, ce qui permettra de décrire les différences entre groupe que nous observons et analyser l'effet de la complexité du stimulus.

3.1.2) Transfert Toucher-Toucher

L'analyse de la variance réalisée sur les bonnes réponses pour le plan 4 (Groupe : dyslexiques vs. dysphasiques vs. dyspraxiques vs. témoins) X 2 (Complexité du stimulus : formes simples vs. composites) montre un effet de Groupe [$F(3,68)=3,65$, $p=.016$], de la Complexité du stimulus [$F(1,68)=15,89$, $p=.000$], ainsi qu'une interaction entre les Groupes et la Complexité du stimulus [$F(3,68)=3,28$, $p=.025$].

L'analyse post-hoc de l'effet de Groupe montre que :

1. Des performances équivalentes pour les 4 groupes pour la reconnaissance des **formes simples**.
2. Des performances équivalentes pour les enfants dyslexiques, dysphasiques et témoins pour la reconnaissance des **formes composites**. Les enfants dyspraxiques reconnaissent moins de combinaisons de formes que les enfants dyslexiques ($p=.000$), que les enfants dysphasiques ($p=.022$) et que les enfants témoins ($p=.000$).

L'analyse post-hoc de l'effet de la **Complexité du stimulus** montre quant à elle que le nombre de bonnes réponses pour la reconnaissance des formes composites est significativement moins élevé que pour la reconnaissance des formes simples chez les enfants dyslexiques ($p=.012$) et dyspraxiques ($p=.000$). En revanche, il n'y a pas de différence pour les enfants dysphasiques et témoins. Ce résultat explique l'interaction Groupe et Complexité du stimulus (voir figure 16). Les enfants dyslexiques et dyspraxiques montrent un effet de complexité du stimulus alors que les enfants dysphasiques et témoins non [$F(1,68)=5,43$, $p=.023$].

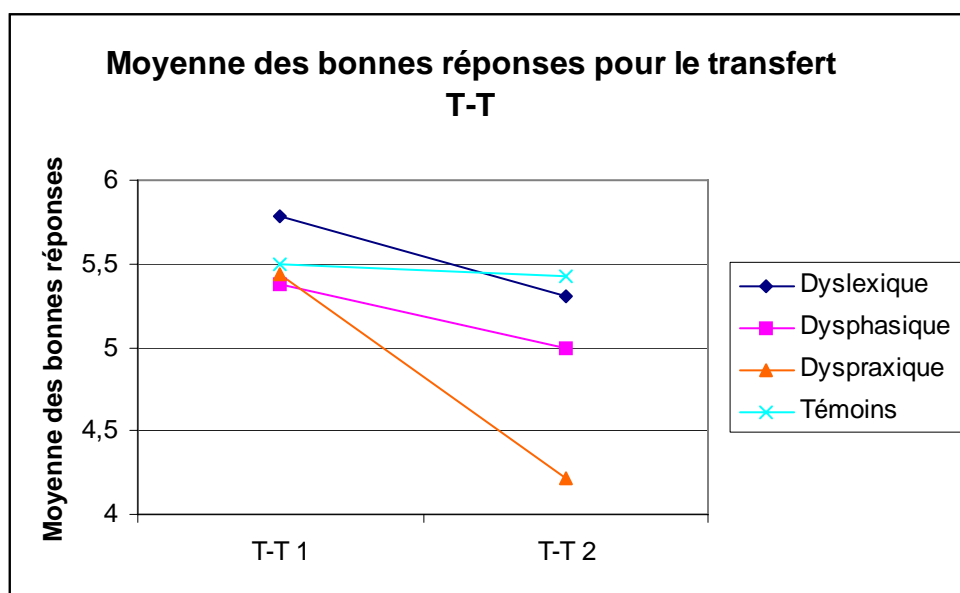


Figure 16 : Moyenne des bonnes réponses au transfert T-T 1 et T-T 2.

3.1.3) Transfert Toucher-Vision

Les bonnes réponses du transfert T-V traitées par analyse de la variance selon le plan 4 (Groupe : dyslexiques vs. dysphasiques vs. dyspraxiques vs. témoins) X 2 (Complexité du stimulus : formes simples vs. composites) révèlent un effet de la Complexité du stimulus [$F(1,68)=16,09$, $p=.000$] sans effet de groupe. Ce résultat est en accord avec notre observation montrant que les performances des 4 groupes sont équivalentes pour ce transfert. L'interaction n'est pas significative.

L'analyse post-hoc de l'effet de la **Complexité du stimulus** indique que les formes simples sont mieux reconnus que les formes composites pour les enfants dyspraxiques ($p=.009$) et témoins ($p=.02$) mais pas pour les enfants dyslexiques et dysphasiques.

3.1.4) Transfert Vision-Toucher

L'analyse de la variance sur les bonnes réponses pour le transfert V-T réalisée d'après le plan 4 (Groupe : dyslexiques vs. dysphasiques vs. dyspraxiques vs. témoins) X 2 (Complexité du stimulus : formes simples vs. composites) met en évidence une tendance de l'effet de Groupe [$F(3,68)=2,41$, $p=.074$] et un effet de la Complexité du stimulus [$F(1,68)=35,55$, $p=.000$] sans effet d'interaction.

L'analyse post-hoc de l'effet de **Groupe** montre que :

1. Les enfants dyspraxiques ont des performances inférieures aux trois autres groupes (respectivement, dyslexiques : $p=.004$; dysphasiques : $p=.006$; témoins : $p=.001$) qui ont des performances équivalentes pour les **formes simples**.
2. Pour les **formes composites**, les performances des enfants dyspraxiques et dysphasiques sont inférieures à celles des enfants dyslexiques (respectivement, $p=.027$; $p=.025$). En revanche, il n'y a pas de différence entre les performances de ces deux groupes et le groupe témoin. Les performances des enfants dyslexiques ne sont pas non plus significativement plus élevées que celles des enfants témoins.

L'analyse post-hoc de l'effet de la **Complexité du stimulus** montre, pour sa part, que les formes simples sont mieux reconnus que les formes composites pour les 4 groupes : dyslexiques ($p=.006$), dysphasiques ($p=.000$), dyspraxiques ($p=.016$) et témoins ($p=.000$).

Pour résumer l'ensemble des résultats, nous allons les présenter sous forme de tableau pour en simplifier la lecture.

1) Différences entre les groupes par transfert pour les formes simples (1) et les formes composites (2).

T-T 1	pas de différences entre les 4 groupes
T-V 1	pas de différences entre les 4 groupes
V-T 1	dyspraxiques < 3 autres groupes ; = entre eux
T-T 2	dyspraxiques < 3 autres groupes ; = entre eux
T-V 2	pas de différences entre les 4 groupes
V-T 2	dyspraxiques = dysphasiques < dyslexiques ; dyspraxiques = dysphasiques = témoins ; témoins = dyslexiques

2) Profils de chaque groupe aux trois transferts :

	Formes simples	Formes composites
Dyspraxiques	T-T=T-V=V-T	T-T=T-V=V-T
Dysphasiques	T-T < V-T ; T-T = T-V ; T-V = V-T	T-T=T-V=V-T
Dyslexiques	T-T=T-V=V-T	T-T=T-V=V-T
Témoins	T-T < T-V= V-T	T-T=T-V=V-T

3) Effet de la complexité du stimulus par transfert et par groupe.

OUI : les formes composites sont moins bien reconnues que les formes simples.

NON : les formes composites sont aussi bien reconnues que les formes simples

	Dyspraxiques	Dysphasiques	Dyslexiques	Témoins
T-T	oui	non	oui	non
T-V	oui	non	non	oui
V-T	oui	oui	oui	oui

3.2. Analyse des temps de réponse

Les figures 17 et 18 présentent les moyennes des temps de réponse par type de transfert en fonction du type de formes simples vs. composites pour les enfants dyslexiques, dysphasiques, dyspraxiques et témoins. Le détail des chiffres est présenté en annexe E.

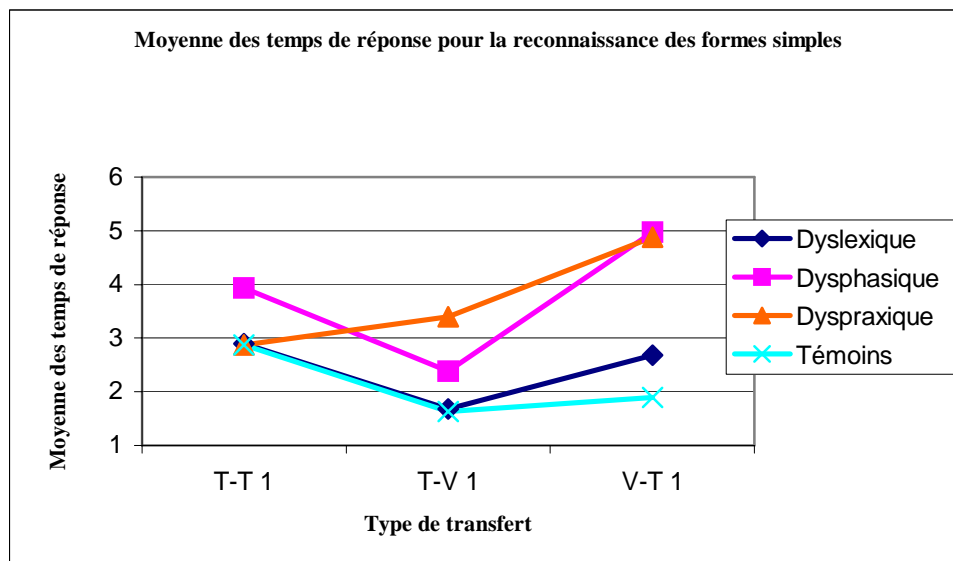


Figure 17 : Moyenne des temps de réponse à 6 items par âge et par type de transfert (T-T, T-V et V-T) pour les formes simples.

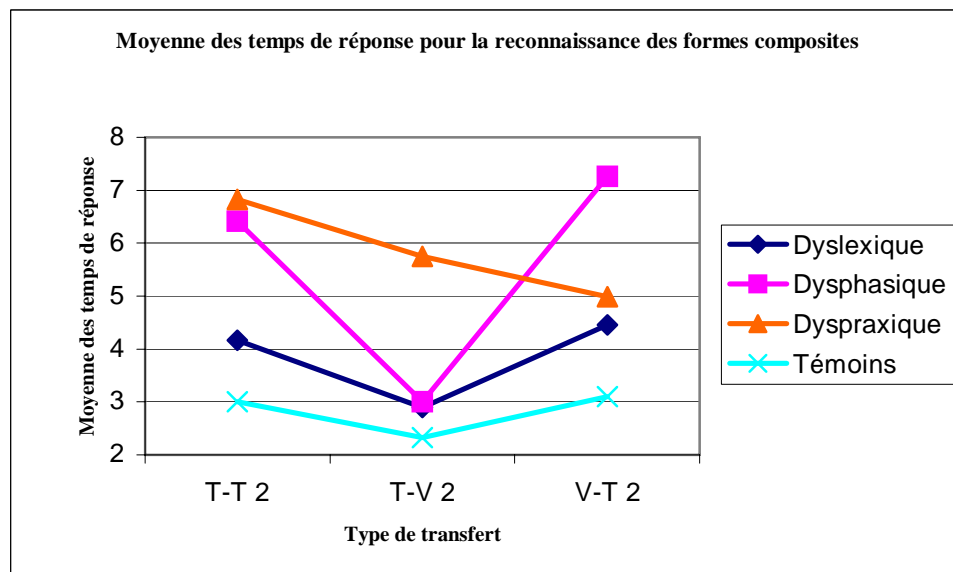


Figure 18 : Moyenne des temps de réponse à 6 items par âge et par type de transfert (T-T, T-V et V-T) pour les formes composites.

3.2.4) Comparaison entre types de transfert

A) Formes simples

Sur la figure 17, on peut remarquer que les enfants dyspraxiques sont plus lents à répondre que les enfants dyslexiques et témoins pour les transferts T-V et V-T et qu'ils ont un profil selon les types de transfert différents des trois autres groupes. Les enfants dysphasiques sont plus lents à répondre que les enfants dyslexiques et témoins pour les trois transferts. Et enfin, les temps de réponse des enfants dyslexiques et témoins semblent équivalents.

Les temps de réponses semblent plus courts pour le transfert T-V que T-T et V-T pour tous les groupes à l'exception des enfants dysphasiques. L'analyse de la variance sur les temps de réponse pour les formes simples selon le plan 4 (Groupe : dyslexiques vs. dysphasiques vs. dyspraxiques vs. témoins) X 3 (Type de transfert : T-T vs. T-V vs. V-T), fait apparaître un effet de Groupe [$F(3,53)=4,66$, $p=.000$], du Type de transfert [$F(2,106)=9,27$, $p=.000$], ainsi qu'une interaction entre ces deux facteurs [$F(6,106)=2,9$, $p=.011$].

L'analyse post-hoc réalisé sur l'effet de **Groupe** confirme notre observation, les enfants dysphasiques et dyspraxiques sont plus lents à répondre que les enfants dyslexiques ($p=.024$; $p=.021$) et témoins ($p=.007$; $p=.006$). Les temps de réponse des enfants dyslexiques et témoins sont équivalents, de même que ceux des enfants dysphasiques et dyspraxiques.

L'analyse post-hoc de l'effet du second facteur, **Type de transfert**, pour tous groupes confondus, indique le profil observé. Les temps de réponse au transfert T-V sont plus courts qu'au transfert T-T ($p=.002$) et V-T ($p=.000$) avec des temps de réponse au transfert T-T équivalents à ceux de V-T. L'analyse par groupe montre que ce profil est

différent pour les enfants dyspraxiques. Pour eux le profil s'ordonne ainsi, $T-T=T-V<V-T$ ($p=.048$), et $T-T<V-T$ ($p=.008$). Si nous regardons en détail les autres groupes, le temps de réponse nécessaire au transfert T-V est plus court qu'au transfert T-T pour les enfants témoins ($p=.007$), dyslexiques ($p=.008$), et dysphasiques ($p=.001$) et qu'au transfert V-T pour les enfants dyslexiques ($p=.030$) et dysphasiques ($p=.001$). En revanche, il est équivalent pour les enfants témoins dont les temps de réponse au transfert T-T sont plus courts qu'au transfert V-T ($p=.35$). Ces deux derniers temps de réponse sont équivalents pour les enfants dyslexiques et dysphasiques.

Enfin, l'interaction **Groupe X Type de transfert** (voir figure 14) met en évidence la différence de profil des enfants dyspraxiques par rapport aux trois autres groupes que nous venons de détailler.

B) Formes composites

La figure 18 montre des résultats similaires à ceux des formes simples. Les enfants dyspraxiques, pour les trois transferts, ont des temps de réponses plus longs que les enfants dyslexiques et témoins, et pour les formes composites, nous observons également que les enfants dyslexiques ont des temps de réponses plus longs que les témoins. Les enfants dysphasiques présentent des temps de réponses plus longs que les enfants dyslexiques et témoins pour le transfert T-T, plus courts que les enfants dyspraxiques et équivalents aux enfants dyslexiques pour le transfert T-V et, enfin, plus longs que les enfants dyspraxiques, dyslexiques et témoins pour le transfert V-T.

On observe également des temps de réponse plus court pour le transfert T-V par rapport aux transferts T-T et V-T excepté pour les enfants dyspraxiques qui montre un profil $TT<T-V<V-T$. L'analyse de la variance pour les temps de réponse selon le plan 4 (Groupe : dyslexiques vs. dysphasiques vs. dyspraxiques vs. témoins) X 3 (Type de

transfert : T-T vs. T-V vs. V-T), montre un effet de Groupe [$F(3,53)=12,86$, $p=.000$], du Type de transfert [$F(2,106)=14,60$, $p=.000$] ainsi qu'une interaction entre le Groupe et le Type de transfert [$F(6,106)=4,11$, $p=.000$].

Concernant ce premier effet de **Groupe**, l'analyse post-hoc va dans le sens de nos observations, les temps de réponses des enfants dyspraxiques et dysphasiques sont plus longs que ceux des enfants dyslexiques ($p=.000$ et $p=.006$) et témoins ($p=.000$ et $p=.000$). Par ailleurs, leurs temps de réponses sont équivalents. D'autre part, les temps de réponses des enfants dyslexiques sont plus longs que ceux des enfants témoins ($p=.020$).

L'analyse post-hoc de l'effet du **Type de transfert**, indique un profil identique à celui des formes simples, c'est à dire des temps de réponse au transfert T-V plus courts qu'au transfert T-T ($p=.000$) et V-T ($p=.000$) avec des temps de réponse au transfert T-T et V-T équivalents. L'analyse par groupe confirme ce profil pour les enfants dyslexiques et dysphasiques, les temps de réponse au transfert T-V sont plus courts qu'au transfert T-T ($p=.008$ et $p=.000$), ainsi qu'au transfert V-T ($p=.001$ et $p=.000$) et équivalents aux transferts T-T et V-T. Par ailleurs, pour les enfants témoins, les temps de réponse aux transferts T-V sont tendanciellement plus courts qu'au transfert T-T ($p=.058$), et ils sont équivalents aux transferts T-T et V-T, ainsi que T-V et V-T. Pour les enfants dyspraxiques, le profil est différent et confirme nos observations. Les temps de réponse au transfert T-T sont tendanciellement plus courts qu'au transfert T-V ($p=.059$) et V-T ($p=.043$) avec des temps de réponse équivalents aux transferts T-V et V-T.

L'interaction **Groupe X Type de transfert** (voir figure 15) distingue là encore le profil particulier des enfants dyspraxiques par rapports aux trois autres groupes. Alors que les temps de réponse au transfert T-V sont plus courts qu'au transfert T-T et V-T pour les enfants dyslexiques, dysphasiques et tendanciellement pour les témoins, le temps de

réponses au transfert T-T est plus court qu'au transfert T-V et V-T pour les enfants dyspraxiques.

3.2.2) *Transfert Toucher-Toucher*

L'analyse de la variance sur les temps de réponse pour le transfert T-T suit le plan 4 (Groupe : dyslexiques vs. dysphasiques vs. dyspraxiques vs. témoins) X 2 (Complexité du stimulus : formes simples vs. composites). Elle révèle un effet de Groupe [$F(3,53)=4,86$, $p=.004$], de la Complexité du stimulus [$F(1,53)=29,79$, $p=.000$] et l'interaction entre les Groupes et la Complexité du stimulus [$F(3,53)=5,56$, $p=.002$].

L'analyse post-hoc de l'effet de **Groupe** montre :

1. Une absence de différence entre les 4 groupes pour la reconnaissance des **formes simples**.
2. Pour la reconnaissance des **formes composites**, un allongement des temps de réponse pour les enfants dyslexiques ($p=.029$), dysphasiques ($p=.000$) et dyspraxiques ($p=.000$) par rapports aux enfants témoins. Et des enfants dysphasiques et dyspraxiques par rapport aux enfants dyslexiques ($p=.000$ et $p=.003$) .

L'analyse post-hoc appliquée à l'effet de la **Complexité du stimulus**, montre que les temps de réponse pour la reconnaissance des formes composites sont significativement plus longs que pour la reconnaissance des formes simples tant chez les enfants dyslexiques ($p=.018$), dysphasiques ($p=.008$) que dyspraxiques ($p=.000$). En revanche, les enfants témoins reconnaissent les formes simples aussi rapidement que les formes composites.

L'étude de l'interaction entre les **Groupes et la Complexité du stimulus** (voir figure 19) montre que les enfants dysphasiques et dyspraxiques sont plus sensibles à la complexité du stimulus que les enfants dyslexiques et témoins [$F(1,53)=12,37$, $p=.000$].

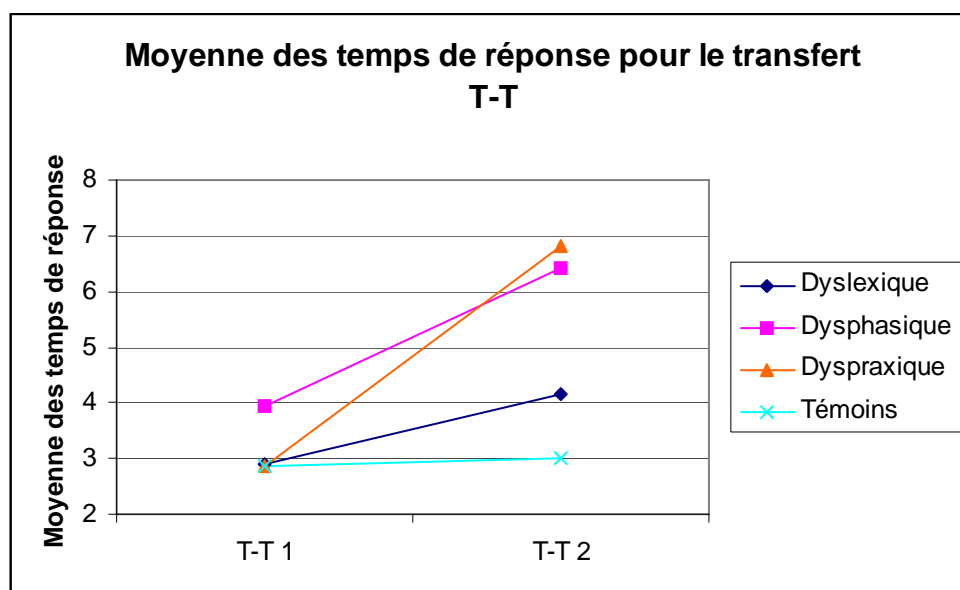


Figure 19 : Moyenne des temps de réponse pour le transfert T-T 1 (formes simples) et T-T 2 (formes composites) pour les enfants dyslexiques, dysphasiques, dyspraxiques et témoins.

3.2.3) Transfert Toucher-Vision

Pour ce second type de transfert, l'analyse de la variance sur les temps de réponse que nous avons effectuée selon le plan 4 (Groupe : dyslexiques vs. dysphasiques vs. dyspraxiques vs. témoins) X 2 (Complexité du stimulus : formes simples vs. composites) révèle un effet de Groupe [$F(3,53)=9,21$, $p=.000$] et de la Complexité du stimulus [$F(1,53)=53,60$, $p=.000$], ainsi qu'une interaction entre des deux facteurs [$F(3,53)=4,73$, $p=.005$].

L'analyse post-hoc de l'effet de **Groupe** donne les résultats suivants :

1. Concernant la reconnaissance des **formes simples**, les enfants dyspraxiques sont plus lents à répondre que les enfants dysphasiques ($p=.015$), dyslexiques ($p=.000$) et témoins ($p=.000$). De plus, les enfants dysphasiques sont plus lents à répondre que les enfants dyslexiques ($p=.044$) et témoins ($p=.033$). Par ailleurs, les enfants dyslexiques et témoins ont des temps de réponse équivalents.

2. Concernant la reconnaissance des **formes composites**, les enfants dyspraxiques sont plus lents à répondre que les enfants dysphasiques ($p=.000$), dyslexiques ($p=.000$), et témoins ($p=.000$). Les enfants dysphasiques et dyslexiques ont des temps de réponse équivalents. Par ailleurs, ils sont plus lents à répondre que les enfants témoins (tendanciellement pour les enfants dysphasiques $p=.057$, et significativement pour les enfants dyslexiques $p=.026$).

L'analyse post-hoc de l'effet de la **Complexité du stimulus** montre que les temps de réponse sont significativement plus longs pour la reconnaissance des formes composites que pour la reconnaissance des formes simples tant chez les enfants témoins ($p=.005$), dyslexiques ($p=.000$) que dyspraxiques ($p=.000$). En revanche, pour les enfants dysphasiques les temps de réponse sont similaires pour les formes simples et composites.

L'interaction entre les **Groupes** et la **Complexité du stimulus** (voir figure 20) va dans le sens d'une plus grande sensibilité des enfants dyspraxiques à la complexité du stimulus par rapport aux enfants dysphasiques, dyslexiques et témoins [$F(1,53)=11,95$, $p=.001$].

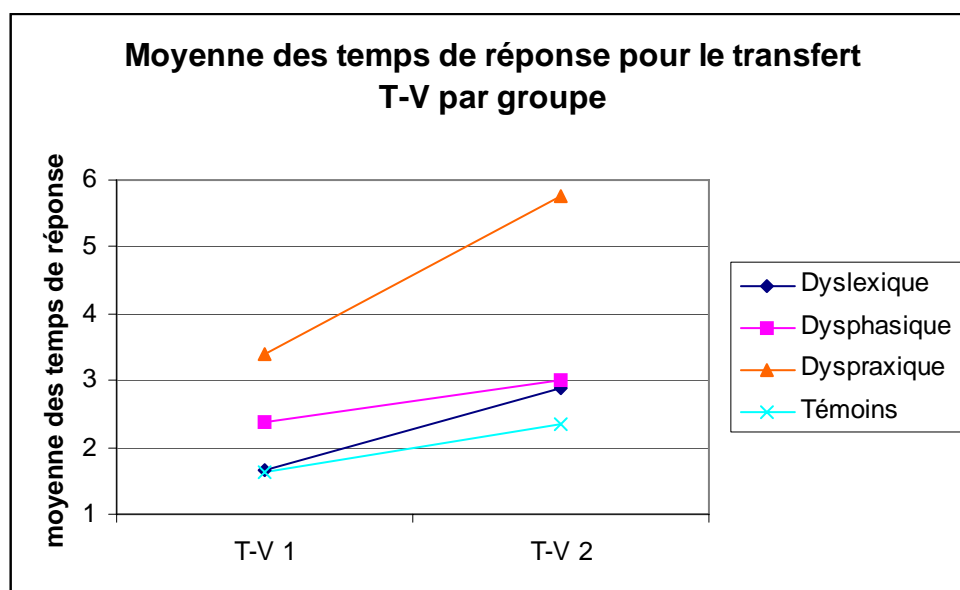


Figure 20 : Moyenne des temps de réponses pour le transfert T-V 1 (formes simples) et T-V 2 (formes composites) pour les enfants dyslexiques, dysphasiques, dyspraxiques et témoins.

3.2.4) Transfert Vision-Toucher

L'analyse de la variance pour les temps de réponse pour ce dernier type de transfert suit le plan 4 (Groupe : dyslexiques vs. dysphasiques vs. dyspraxiques vs. témoins) X 2 (Complexité du stimulus : formes simples vs. composites). Un effet de Groupe [$F(3,53)=8,69$, $p=.000$], ainsi qu'un effet de la Complexité du stimulus [$F(1,53)=19,10$, $p=.000$] sont mis en évidence ; l'interaction entre ces deux facteurs n'est quant à elle pas significative.

D'après l'analyse post-hoc de l'effet de **Groupe** :

1. Les temps de réponse à la présentation des **formes simples** chez les enfants dysphasiques et dyspraxiques sont équivalents. Par ailleurs, ces enfants sont plus lents à répondre que les enfants dyslexiques ($p<.000$; $p<.000$) et témoins ($p<.000$; $p<.000$). De plus, les enfants dyslexiques sont tendanciellement plus lents à répondre que les enfants témoins ($p<.091$).

2. Les enfants dysphasiques sont plus lents à reconnaître les **formes composites** que les enfants dyspraxiques ($p < .004$), dyslexiques ($p < .000$), et témoins ($p < .000$). Les temps de réponse des enfants dyspraxiques et dyslexiques sont équivalents. Par ailleurs, ils sont plus lents à répondre que les enfants témoins ($p < .003$; $p < .004$).

L'analyse post-hoc du second effet, la **Complexité du stimulus** révèle des temps de réponse significativement plus longs pour la reconnaissance des formes composites que pour la reconnaissance des formes simples tant chez les enfants témoins ($p < .010$), dyslexiques ($p < .000$) que dysphasiques ($p < .005$). En revanche, les temps de réponse pour les formes simples et composites sont équivalents pour les enfants dyspraxiques .

En résumé :

1) Différences entre les groupes par transfert pour les formes simples (1) et les formes composites (2). < signifie que les temps de réponses sont plus courts.

T-T 1	pas de différences entre les 4 groupes
T-V 1	Témoins = dyslexiques < dysphasiques < dyspraxiques
V-T 1	Témoins < dyslexiques < dysphasiques = dyspraxiques
T-T 2	Témoins < dyslexiques < dysphasiques = dyspraxiques
T-V 2	Témoins < dyslexiques = dysphasiques < dyspraxiques
V-T 2	Témoins < dyslexiques = dyspraxiques < dysphasiques

2) Profils de chaque groupe aux trois transferts :

	Formes simples	Formes composites
Dyspraxiques	$T-T = T-V < V-T$; $T-T < V-T$	$V-T = T-V < T-T$
Dysphasiques	$T-V < T-T$ et $V-T$; $T-T = V-T$	$T-V < T-T$ et $V-T$; $T-T = V-T$
Dyslexiques	$T-V < T-T$ et $V-T$; $T-T = V-T$	$T-V < T-T$ et $V-T$; $T-T = V-T$
Témoins	$T-V = V-T < T-T$	$T-T = T-V = V-T$

3) Effet de la complexité du stimulus par transfert et par groupe.

OUI : les formes composites sont moins bien reconnues que les formes simples.

NON : les formes composites sont aussi bien reconnues que les formes simples

	Dyspraxiques	Dysphasiques	Dyslexiques	Témoins
T-T	oui	oui	oui	non
T-V	oui	non	oui	oui
V-T	non	oui	oui	oui

A présent, nous allons observer l'orientation des formes composites pour répondre à la question posée en introduction. A savoir, les enfants dyslexiques présentent-ils des performances moindres lorsque les formes composites sont orientées selon un axe horizontal par rapport à celles orientées selon un axe vertical. Nous analyserons également les résultats des autres groupes.

3.3. Analyse de l'orientation des formes composites

3.4.1) Analyse sur les bonnes réponses

La figure 21 présente le nombre moyen des bonnes réponses pour les trois types de transfert réalisé sur l'orientation des formes composites pour les enfants témoins, dyslexiques, dysphasiques et dyspraxiques.

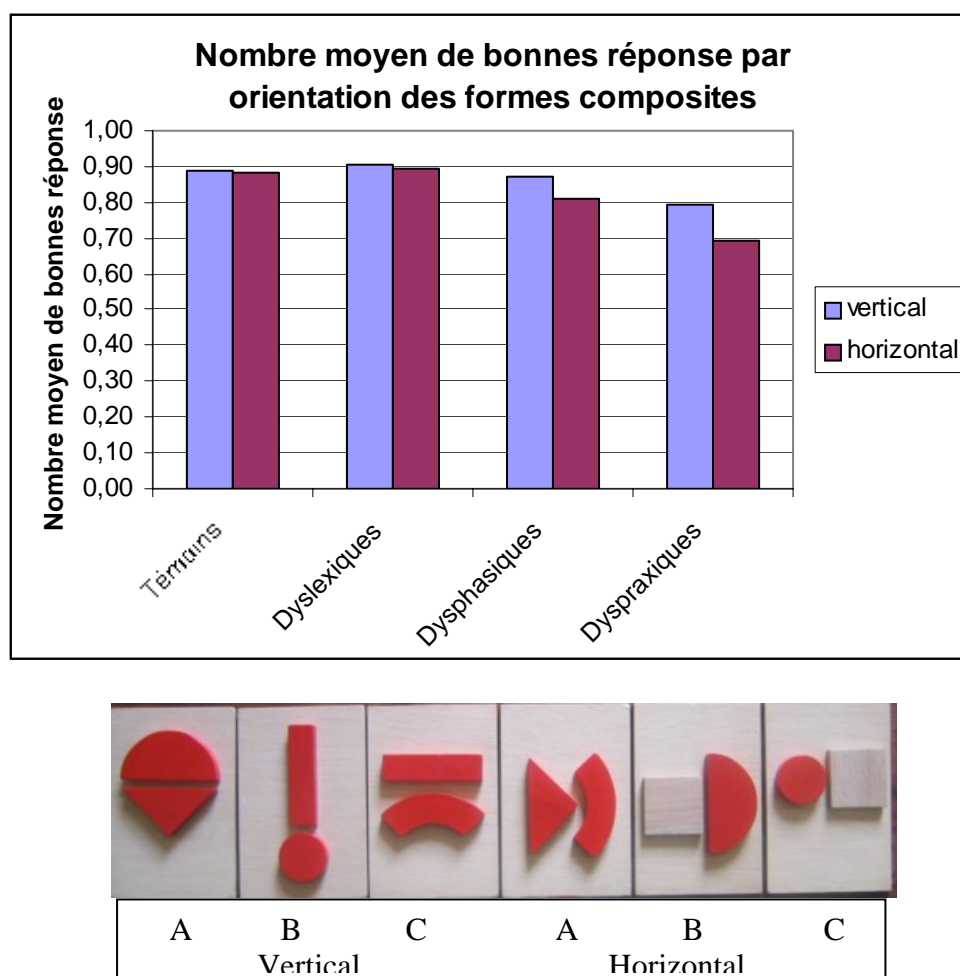


Figure 21 : Nombre moyen des bonnes réponses par orientation des formes composites pour les enfants, témoins, dyslexiques, dysphasiques et dyspraxiques.

Les effets de Groupe et de Type de transfert sur les bonnes réponses et sur les temps de réponse ayant été développés dans la partie précédente, nous allons nous intéresser uniquement aux résultats concernant l'orientation des formes composites.

L'analyse de la variance réalisée sur les bonnes réponses selon le plan 4 (Groupe : dyslexiques vs. dysphasiques vs. dyspraxiques vs. témoins) X 2 (Orientations : vertical vs. horizontal) X 3 (Formes composites : A vs. B vs. C) X 3 (Type de transfert : T-T vs. T-V vs. V-T) montre un effet tendancielle de l'orientation [$F(1,53)=3,11$; $p=0,074$]. Cette tendance va dans le sens attendu, les performances des formes composites orientées selon un axe horizontal sont légèrement inférieures à celles des formes composites orientées selon un axe vertical. Par ailleurs, si nous regardons groupe par groupe, aucun ne montre cette tendance. De même, l'analyse transfert par transfert ne montre pas de différence significative selon l'orientation des formes composites lors des transferts T-T et V-T. Cette différence est tendancielle lors du transfert T-V [$F(1,53)=3,40$, $p=0,070$].

3.4.2) Analyse sur les temps de réponse

La figure 22 présente les moyennes des temps de réponse pour les trois types de transfert par orientation des formes composites pour les enfants témoins, dyslexiques, dysphasiques et dyspraxiques.

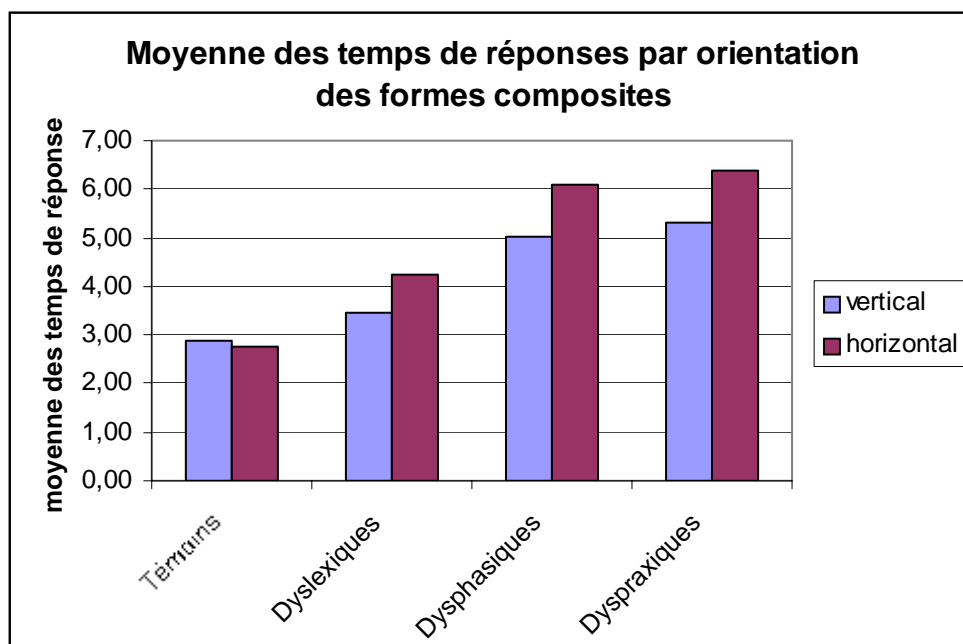


Figure 22 : Moyenne des temps de réponse par orientation des formes composites pour les enfants témoins, dyslexiques, dysphasiques et dyspraxiques.

L'analyse de la variance, de l'orientation des formes composites, réalisé cette fois sur les temps de réponse, suit le plan 4 (Groupe : dyslexiques vs. dysphasiques vs. dyspraxiques vs. témoins) X 2 (Orientation : vertical vs. horizontal) X 3 (Formes composites : A vs. B vs. C) X 3 (Type de transfert : T-T vs. T-V vs. V-T). Elle révèle un effet de l'Orientation [$F(1,53)=12,26$; $p=.000$]. Les interactions entre les facteurs Groupe et Orientation [$(3,53)=2,70$; $p=.054$], ainsi qu'entre Type de transfert et Orientation [$(2,106)=3,02$; $p=.052$] sont tendancielle. L'interaction entre les facteurs Groupe, Orientation et Type de transfert est significative [$(6,106)=2,20$; $p=.048$].

L'effet significatif de l'orientation va dans le sens de nos attentes, montrant un temps de réponse plus long lorsque les formes composites sont orientées selon un axe horizontal par rapport à l'axe vertical.

Si nous regardons groupe par groupe, pour tous transferts confondus, nous retrouvons cette différence significative chez les enfants dyslexiques [$F(1,53)=7,34$, $p=.009$], dysphasiques [$F(1,53)=4,68$, $p=.035$] et dyspraxiques [$F(1,53)=4,93$, $p=.030$] mais pas chez les enfants témoins.

A présent, si nous regardons transfert par transfert, nous retrouvons une différence significative entre les deux orientations lors du transfert T-T [$F(1,53)=17,09$, $p=.000$], une différence tendancielle lors du transfert V-T [$F(1,53)=3,17$, $p=.08$] et non significative lors du transfert T-V. Pour le transfert T-T, la différence est significative pour les enfants dyspraxiques [$F(1,53)=14,86$, $p=.000$], tendancielle pour les enfants dyslexiques [$F(1,53)=3,03$, $p=.087$] et dysphasiques [$F(1,53)=3,49$, $p=.067$] et non significatif pour les enfants témoins. Pour le transfert V-T, la différence est significative pour les enfants dyslexiques [$F(1,53)=5,80$, $p=.019$] et dysphasiques [$F(1,53)=5,80$, $p=.019$] mais pas pour les enfants dyspraxiques et témoins.

En résumé, l'analyse de l'orientation des formes composites, sur les bonnes réponses, montre une tendance qui va dans le sens de notre hypothèse. A savoir des difficultés plus importantes pour reconnaître des formes composites orientées selon un axe horizontal par rapport à un axe vertical. Toutefois, cette tendance n'est pas spécifique des enfants dyslexiques comme nous l'attendions. Concernant l'analyse sur les temps de réponse, nous trouvons, en revanche, une différence significative allant toujours dans le sens de notre hypothèse (temps plus long pour axe horizontal que vertical), mais uniquement pour le transfert T-T et V-T chez les enfants dyslexiques et dysphasiques.

4. Discussion

Notre étude sur l'intégration sensorielle entre le toucher et la vision, qui est la première à tester des enfants présentant un trouble des apprentissages de cette façon, offre des résultats intéressants. Nos hypothèses ont porté sur d'éventuels troubles ou réussites du transfert par rapport à notre connaissance des troubles de chaque pathologie.

Nous avons envisagé, en premier lieu, la possibilité d'un accroissement des temps de réponse chez les enfants présentant un trouble des apprentissages par rapport aux enfants témoins suite au ralentissement observé dans les tâches cognitives lors de l'évaluation neuropsychologique. Cette hypothèse est vérifiée. Ces enfants sont effectivement plus lents à répondre que les enfants témoins, en particulier les enfants dysphasiques et dyspraxiques. Ce ralentissement doit être confronté aux performances de chacun pour comprendre s'il s'agit d'une difficulté de transfert intra et/ou intermodal.

Au sujet des enfants dyslexiques, en raison de leurs troubles notamment de mémoire de travail et de traitement séquentiel (Laasonen, Tomma-Halme, Lahti-Nuutila,

Service et Virsu, 2000), nous avons émis l'hypothèse que les performances des enfants dyslexiques dans la modalité tactile pourraient être affectées sachant que celle-ci requiert un traitement séquentiel et que la tâche d'appariement intra et intermodal requiert de la mémoire de travail. Nos résultats ne confirment pas cette hypothèse. Les performances des enfants dyslexiques sont comparables à celles des enfants témoins pour les trois transferts avec les formes simples. Nous supposons également que leurs difficultés pourraient se révéler davantage pour les formes composites qui requièrent une quantité plus importantes d'informations à traiter. Comme pour les formes simples, leurs performances sont comparables à celles des enfants témoins pour les trois transferts réalisés. Par contre, ils reconnaissent moins de formes composites que de formes simples lors du transfert T-T, tandis que les enfants témoins en reconnaissent autant, ainsi que lors du transfert V-T. De plus, leurs temps de réponse sont plus longs que ceux des enfants témoins pour les trois transferts de formes composites. En raison des bonnes performances, nous pouvons supposer que ce temps correspond à un coût cognitif plus élevé, ce qui va dans le sens de notre hypothèse et non à des difficultés d'intégration toucher-vision. Par ailleurs, nos résultats chez les enfants dyslexiques mettent également en évidence des performances comparables entre chaque type de transfert tant avec les formes simples que composites, cette réversibilité du transfert va également dans le sens d'une bonne intégration entre le toucher et la vision. Par ailleurs, l'analyse des temps de réponse des enfants dyslexiques selon le type de transfert montre que le transfert T-V est le plus rapide. Ce résultat est comparable à ceux obtenus chez les enfants tout-venant de l'expérience 2. Il semble donc que les enfants dyslexiques présentent des capacités de transfert intra et intermodales normales mais l'analyse de rapport topologique demande un coût cognitif plus important que les enfants tout-venant, toutefois, sans perturber leur reconnaissance.

En ce qui concerne les formes composites, nous avons émis une autre hypothèse au sujet de l'orientation de celles-ci. En raison des confusions visuelles observés dans la dyslexie et des erreurs en miroir commis au test de Reversal par notre groupe d'enfant dyslexiques, nous avons supposé qu'ils pourraient avoir des performances moins bonnes ou des temps de réponse plus longs lorsque les formes composites seraient orientées selon un axe horizontal par rapport à celles orientées selon un axe vertical. Nos résultats sur les bonnes réponses ne confirment pas cette hypothèse. Nous observons juste une tendance pour l'ensemble des enfants qui va dans ce sens. Par contre, nos résultats sur les temps de réponses vont dans le sens de nos attentes. Leurs temps de réponse sont plus longs pour les formes composites orientées selon un axe horizontal par rapport à celles orientées selon un axe vertical lors des transferts T-T et V-T, alors que les enfants témoins ne présentent pas cette différence. Comme précédemment, bien que fonctionnel, l'allongement des temps de réponses laissent supposer que, pour les enfants dyslexiques, le traitement d'un rapport topologique en miroir est plus coûteux cognitivement qu'un rapport topologique orienté selon un axe vertical.

Pour le groupe des enfants dysphasiques, suite à deux études (Montgomery, 1993 et Kamhi, 1981) réalisées auprès d'enfants présentant des troubles spécifiques du langage, qui ont montré une reconnaissance haptique efficace avec des capacités limitées de maintien des informations, nous avons émis l'hypothèse qu'ils auront des performances normales. Nos résultats confirment cette hypothèse. Leurs performances sont équivalentes à celles des enfants témoins, et ils ne montrent pas non plus d'effet du type de transfert. Ces résultats vont dans le sens d'une bonne intégration sensorielle entre le toucher et la vision chez les enfants dysphasiques. En revanche, l'analyse de leur temps de réponses sont supérieures à ceux des enfants témoins et dyslexiques pour les formes simples et

composites aux transferts T-T et V-T. Cette augmentation du temps de réponse des enfants dysphasiques par rapport aux enfants dyslexiques alors que leurs performances sont normales peut provenir d'une part, de leur trouble de mémoire de travail, et d'autre part de difficultés praxiques rencontrés par la moitié des enfants dysphasiques de notre groupe. En effet, pour ces deux types de transferts V-T et T-T, la phase test est la plus coûteuse en terme de mémoire de travail et d'exploration tactile car il faut comparer la cible et le distracteur dans la modalité tactile.

Nous avons également suggéré que les enfants dysphasiques pourraient avoir plus de difficultés pour les formes composites pour des raisons de mémoire de travail et parce qu'un certain nombre d'enfants cumulent des troubles visuo-constructifs. Cette hypothèse est en partie validée, car ils sont sensibles à la complexité du stimulus tant en exactitude qu'en temps de réponses notamment pour le transfert T-T et V-T alors qu'ils sont bons et rapides pour le transfert T-V pour les formes simples et composites. Lors du transfert V-T, les performances de notre groupe d'enfants dysphasiques pour les formes composites sont les plus faibles et celles qui nécessitent un temps de réponse le plus long des quatre groupes. La phase test de ce transfert, en plus de la mémoire, nécessite une reconstruction mental de la forme afin de la comparer au modèle visuel gardé en mémoire. Leur troubles visuo-constructives peuvent expliquer cette difficulté particulière pour le transfert V-T chez ces enfants.

En ce qui concerne les enfants dyspraxiques, nous avons fait l'hypothèse, qu'en raison de la théorie dominante d'un trouble d'intégration sensorielle (Ayes, 1972), des troubles praxiques gestuelles, visuo-spatiaux et visuo-constructifs observés lors de l'évaluation neuropsychologique, ils seront gênés pour explorer tactilement les formes et se faire une image mentale correcte afin de les reconnaître. Cette hypothèse est vérifiée. Leurs

performances sont inférieures et leurs temps de réponses plus longs que celles et ceux des enfants témoins, mais aussi dyslexiques et dysphasiques aux transferts T-T et V-T. On retrouve ces deux transferts, comme pour les enfants dysphasiques, ayant en commun des troubles visuo-constructifs. Ce résultat montre que l'intégration entre le toucher et la vision semble fonctionnelle pour le transfert T-V mais que les difficultés lors des transferts T-T et V-T résultent, dans la phase test, de difficultés praxiques pour l'exploration tactile et de difficultés d'intégration visuelle pour la reconstruction mentale des formes explorées tactilement. En raison de ces troubles, on s'attendait également à observer des difficultés plus importantes pour les formes composites, ce qui est vérifié. Ils sont plus sensibles que les autres groupes à la complexité du stimulus pour les trois transferts.

Enfin, nous avons émis l'hypothèse qu'ils seront les plus lents à répondre car nous avons observé lors de l'évaluation neuropsychologique, un indice de vitesse de traitement au WISC-III pathologique et le plus faible des trois groupes. Cette hypothèse est également confirmée. Les enfants dyspraxiques sont plus lents que les trois autres groupes, excepté pour le transfert V-T de formes composites, où ce sont les enfants dysphasiques qui sont les plus lents. Pour les enfants dyspraxiques, le transfert T-T est le moins réussi et le plus lent. Ce résultat est attendu puisque ce transfert se fait totalement dans la modalité tactile.

En conclusion, on observe que le transfert intermodal dans les troubles des apprentissages est marqué par des difficultés de mémoire de travail, de traitement séquentiel, de troubles visuo-perceptifs et praxiques selon les spécificités de chacun. Par ailleurs, même si le transfert est parfois lent et rendu difficile, il est fonctionnel.

A présent, nous allons observer les corrélations entre les performances aux épreuves neuropsychologiques et aux tâches de transfert intermodal, ce qui nous permettra d'affiner ce que nous avons observé dans cette troisième expérience.

4. Analyse des corrélations entre les épreuves neuropsychologiques et les épreuves de transfert intra et intermodales

1. Introduction

Dans la première expérience, nous avons évalué l'efficacité intellectuelle, la mémoire visuelle et auditive et les capacités visuo-spatiales d'enfants dyslexiques, dysphasiques et dyspraxiques. Puis, dans la troisième expérience, nous avons évalué les capacités de transfert intramodal T-T et intermodal T-V et V-T de ces enfants. Le choix des épreuves neuropsychologiques avait comme objectif de tester les capacités cognitives impliquées dans la tâche de transfert intermodal entre le toucher et la vision de formes géométriques simples et composites. A présent, nous souhaitons mettre en relation les performances obtenues par les enfants aux épreuves neuropsychologiques avec celles obtenus lors des tâches de transfert. Dans la première expérience, nous avons pu observer que les trois pathologies partageaient des difficultés de mémoire de travail. Nous savons également que lors de la phase test des tâches de transfert, les enfants doivent faire appel à la mémoire de travail pour pouvoir comparer les deux stimuli et donner une réponse. Nous faisons donc l'hypothèse que leurs performances aux tâches de transfert intra et intermodal seront corrélés aux épreuves testant la mémoire de travail. D'autre part, nous avons mis en évidence une sollicitation spécifique des capacités de perception des relations spatiales lors des tâches de transfert pour les formes composites. Les performances des enfants à ces

tâches pourraient donc être corrélées à leurs résultats aux épreuves visuo-spatiales. Par ailleurs, des spécificités ont été observées pour chaque pathologie : pour les enfants dyslexiques, un déficit de mémoire de travail auditivo-verbale et de traitement séquentiel ; pour les enfants dysphasiques, un trouble du langage surtout sur le versant expressif, un trouble de mémoire de travail auditivo-verbale et des difficultés visuo-constructives ; et, pour les enfants dyspraxiques, des troubles praxiques gestuelles, visuo-perceptifs, visuo-constructifs et de faibles performances dans les épreuves de mémoire de travail auditivo-verbale et visuo-spatiale. Dans la troisième expérience, ces spécificités ont eu un impact sur les performances des enfants aux tâches de transfert intra et intermodal. Plus précisément, nous faisons l'hypothèse d'observer des corrélations entre les tâches de transferts et les épreuves de traitement séquentiel pour les enfants dyslexiques, avec les épreuves verbales pour les enfants dysphasiques, et avec les épreuves visuo-spatiales pour les enfants dyspraxiques.

Ces corrélations que nous allons étudier vont nous permettre, d'une part, de mieux comprendre les performances observées dans les tâches de transferts, et d'autre part, de préciser quelle capacité cognitive explique le mieux la variabilité des performances pour chaque pathologie selon les types de transferts.

2. Résultats et discussion

Nous allons étudier les corrélations relatives aux bonnes réponses puis sur aux temps de réponse pour chaque pathologie.

Nous avons utilisé le test de Spearman, test non-paramétrique, pour l'analyse par groupe à l'aide du logiciel Statistica.

2.1. Pour les enfants dyslexiques

A) Analyses sur les bonnes réponses

Le tableau 9 montre uniquement les corrélations significatives entre les performances aux épreuves neuropsychologiques et les performances aux épreuves de transfert intra (T-T) et intermodal (T-V et V-T) sur le nombre de bonnes réponses. 1 : forme simple, 2 : forme composite.

	Formes simples		Formes composites	
	T-T	T-V	T-T	T-V
QIP				.52 p.023
IOP				.43 p.067
Symboles		.47 p.037		
Arithmétique				.47 p.040
Mémoire des chiffres				.42 p.054
Mémoire spatiale			.53 p.016	
Rappel de prénoms		.48 p.031		
Suite de mots	.47 p.037			
Mouvement de mains	.50 p.024			
Dénomination		.50 p.022		

Tableau 9 : Corrélations significatives entre les performances aux épreuves neuropsychologiques et aux épreuves de transfert à l'aide du test non-paramétrique de Spearman. En rouge les corrélations significatives à $p < .05$ et en noir les corrélations jusqu'à $p < .10$.

L'analyse fait apparaître 10 corrélations entre certaines épreuves neuropsychologiques et certaines tâches de transfert. Toutes les corrélations sont positives ce qui signifie que plus les performances aux tests neuropsychologiques sont élevées, meilleures sont les performances aux transferts. Nous allons décrire plus précisément ces résultats.

D'après le tableau 9, nous observons :

- une corrélation entre les performances au transfert T-T de formes simples et les épreuves sollicitant les capacités de traitement séquentiel. En effet, dans le transfert intramodal T-T, la phase de familiarisation et la phase de test sont effectuées en modalité tactile. Nous avons vu que dans la modalité tactile, l'exploration permettant l'encodage puis la reconnaissance d'une forme nécessite un traitement séquentiel. Ce résultat conforte l'utilisation d'un traitement séquentiel lors de l'exploration d'une forme dans la modalité tactile.
- des performances au transfert T-V de formes simples corrélées avec la tâche de Rappel des prénoms, épreuve dans laquelle il faut associer un prénom à un visage, et la tâche de Dénomination pour laquelle l'enfant doit retrouver le nom associé à l'image. Dans le transfert T-V et T-T de formes simples, la plupart des enfants nommaient spontanément la forme qu'ils exploraient tactilement. Cette corrélation renforce la notion, déjà connue, d'activation simultanée et automatique du nom associé à l'image, que cette image soit visuelle ou tactile (Boucart et Humphreys, 1997).
- une corrélation entre les performances au transfert T-V de formes simples et le subtest Symbole. Dans ce subtest de l'échelle de Performance du WISC-III, on présente à l'enfant des planches comportant 2 symboles à côté d'une série de 5 autres symboles. L'enfant doit signaler s'il retrouve l'un des deux symboles isolés parmi la série. Cette tâche nécessite une bonne discrimination perceptive et implique la mémoire de travail puisque les éléments parcourus doivent être sans cesse comparés au modèle présenté. Cette corrélation laisse supposer que la réalisation du transfert T-V de formes simples repose en partie sur des capacités de mémoire de travail visuelle.

- une corrélation entre les performances de transfert T-T de formes composites avec l'épreuve Mémoire spatiale. Nous pouvons interpréter cette corrélation par le fait que ce transfert est celui qui sollicite le plus les ressources de mémoire spatiale. En effet, dans la phase test l'enfant doit comparer tactilement deux formes composites et pour ce faire, il doit avoir conservé en mémoire non seulement les données perceptives, mais également les relations spatiales spécifiques de la forme composite explorée lors de la phase de familiarisation.

- une corrélation entre les performances de transfert T-V de formes composites et le QI Performance, l'indice d'Organisation Perceptive, ainsi que les subtests Arithmétique et Mémoire des chiffres. Ces corrélations laissent supposer que les capacités d'analyse visuo-spatiales et de mémoire de travail sont requises pour la réalisation de ce transfert.

B) Analyses sur les temps de réponse

Le tableau 10 montre uniquement les corrélations significatives entre les performances aux épreuves neuropsychologiques et les temps de réponse aux épreuves de transfert intra (T-T) et intermodal (T-V et V-T). 1 : forme simple, 2 : forme composite.

	Formes simples		Formes composites		
	T-T	T-V	T-T	T-V	V-T
Chiffres Empan envers			-.42 p.059		-.48 p.029
Corsi Empan endroit			-.38 p.090	-.51 p.019	-.50 p.022
Apprentissage de prénoms	-.45 p.049	-.41 p.074			
Rappel de prénoms				-.48 p.034	
Dénomination				-.49 p.022	
Benton lignes			-.52 p.020		

Tableau 10 : Corrélations significatives entre les performances aux épreuves neuropsychologiques et aux temps de réponse aux épreuves de transfert à l'aide du test non-paramétrique de Spearman. En rouge, les corrélations significatives à $p < .05$ et en noir jusqu'à $p < .10$.

L'analyse fait apparaître 10 corrélations entre certaines épreuves neuropsychologiques et certaines tâches de transfert. Toutes les corrélations étant négatives, nous pouvons avancer que plus les performances aux tests neuropsychologiques sont élevées plus les temps de réponse aux transferts sont courts. Nous allons décrire ces résultats et apporter des éléments de compréhension.

D'après le tableau 10, nous observons :

- une corrélation entre la vitesse de réponse du transfert T-T de formes simples et l'Apprentissage de prénoms associés à un visage. Ainsi, il semblerait que plus l'association d'un nom avec un visage est facilement mémorisé, plus les temps de reconnaissance au transfert T-T sont courts. Ces deux tâches pourraient donc reposer sur des processus similaires, et notamment les enfants pourraient favoriser le maintien en mémoire des formes simples en renforçant cette information grâce à l'association d'un nom à l'image tactile.
- une corrélation entre les temps de réponse des transferts T-T et V-T de formes composites et les capacités de mémoire de travail (empan envers des chiffres), ainsi qu'une corrélation entre le score d'empan endroit du Corsi et les trois transferts pour les formes composites. Ces corrélations étaient attendues du fait que la reconnaissance des formes composites fait appel à la mémoire de travail et aux capacités visuo-spatiales.
- une corrélation entre les temps de réponse au transfert T-V de formes composites et l'épreuve de Dénomination. Cette corrélation laisse supposer que les enfants associent aux formes touchées un nom ou verbalise une information, une caractéristique pour aider la mémorisation bien que ces formes composites ne puissent être dénommée en un mot.
- une corrélation entre les temps de réponse au transfert T-T de formes composites et le test Benton lignes. Cette épreuve consiste à repérer l'orientation de deux lignes et les comparer à 11 lignes présentées simultanément. Cette corrélation sous-entend que l'enfant

transforme l'image tactile de l'orientation des formes composites en images visuelles pour maintenir l'information de l'orientation dans la phase test.

En résumé, l'étude des corrélations entre les résultats aux tests neuropsychologiques et les performances expérimentales pour les enfants dyslexiques, nous indiquent que : le transfert T-T de formes simples requièrent principalement des capacités de traitement séquentiel ; les trois transferts de formes composites, la mémoire visuelle et la mémoire de travail auditivo-verbale. On note également que les transferts T-V de formes simples et composites font appel à la verbalisation, ainsi qu'aux capacités d'intégration audition-vision.

2.2 Pour les enfants dysphasiques

A) Analyses sur les bonnes réponses

	Formes simples	Formes composites	
	T-T 1	T-T 2	V-T 2
Compréhension		.86 p.029	.95 p.003
Mémoire des chiffres			.81 p.027
Chiffres empan endroit	.82 p.024	.67 p.099	.77 p.043
Chiffres empan envers			.91 .005
Corsi empan envers	.83 p..043		
DS	.86 p.028		
Suite de mots	.81 p.050		

Tableau 11 : Corrélations significatives entre les performances aux épreuves neuropsychologiques et aux épreuves de transfert à l'aide du test non-paramétrique de Spearman. En rouge les corrélations significatives à $p < .05$ et en noir les corrélations jusqu'à $p < .10$.

L'analyse fait apparaître 10 corrélations entre certaines épreuves neuropsychologiques et certaines tâches de transfert (tableau 11). Toutes les corrélations

sont positives ce qui signifie que plus les performances aux tests neuropsychologiques sont élevées, meilleures sont les performances dans les tâches de transferts.

Plus précisément, d'après le tableau 11, nous observons :

- une corrélation entre les performances au transfert T-T de formes simples et les capacités de mémoire à court terme auditive, ainsi qu'entre ces performances et la mémoire de travail visuelle. Le transfert T-T, dans la phase test, nécessite d'explorer tactilement deux objets. Il prend donc plus de temps et sollicite le plus la mémoire la mémoire de travail. On remarque une mobilisation de la mémoire de travail auditive et visuelle, comme on a pu l'observer chez les enfants dyslexiques, ce qui sous-entend un recodage verbale et visuelle lors du transfert intramodal tactile.
- une corrélation entre les performances au transfert V-T de formes composites et la Mémoire des chiffres (empan endroit et envers), ainsi qu'une corrélation entre les performances au transfert T-T de formes composites et l'empan endroit de chiffres. Ces corrélations rejoignent celles observées à l'instant. Le transfert V-T comme le transfert T-T nécessite dans la phase test d'explorer deux objets et sollicite donc la mémoire de travail.
- une corrélation entre les performances aux transferts T-T et V-T de formes composites et le subtest Compréhension de l'échelle Verbale du WISC-III. Cette épreuve fait appel à la culture générale et aux connaissances des règles sociales et nécessite des capacités d'expression de ces connaissances. Cette corrélation pourrait être interprété comme, les enfants dysphasiques ayant le plus de capacités d'expression sont ceux qui réussissent le mieux les tâches de transfert T-T et V-T de formes composites. Ceci sous-entend que ces enfants ont cherché à verbaliser des informations sur ces formes composites ce qui peut expliquer aussi, l'utilisation de la mémoire de travail auditivo-verbale dans un transfert où la réponse est tactile.

B) Analyses sur les temps de réponse

	Formes simples		Formes composites		
	T-T 1	T-V 1	T-T 2	T-V 2	V-T 2
ICV	-.77 p.072				
Compréhension	-.99 p.000				
IOP			.78 p.039		
Cubes			.87 p.010		
Mémoire de chiffres	-.67 p.098				
Empan endroit	-.80 p.030				
Empan envers	-.72 p.067				-.72 p.067
Mémoire spatial			.81 p.026		
Mouvement mains		-.75 p.052			-.71 p.071
Rappel des prénoms			-.79 p.059		
Position dans l'espace			.95 p.000		
Closure visuelle			.75 p.052		
Benton lignes			.71 p.071		
Reconnaissance de formes		-.80 p.029		-.92 p.004	-.92 p.004
Reversal		.84 p.036			.84 p.036

Tableau 12 : Corrélations significatives entre les performances aux épreuves neuropsychologiques et aux temps de réponse aux épreuves de transfert à l'aide du test non-paramétrique de Spearman. En rouge, les corrélations significatives à $p < .05$ et en noir jusqu'à $p < .10$.

L'analyse fait apparaître 12 corrélations négatives entre les épreuves neuropsychologiques et certaines tâches de transfert (tableau 12). Les corrélations négatives indiquent que : plus les performances aux tests neuropsychologiques sont élevées, plus les temps de réponse aux transferts sont courts. Par ailleurs, l'analyse fait apparaître 7 corrélations positives qui montrent la relation inverse : plus les performances aux test neuropsychologiques sont bonnes, plus les temps de réponse sont longs.

D'après le tableau 12, nous observons :

- une corrélation entre les temps de réponse du transfert T-T de formes simples et les subtests Compréhension et Mémoire des chiffres (empan endroit et envers) de l'échelle Verbale du WISC-III. Ces corrélations renforcent ce que nous avons observé pour ce transfert avec les bonnes réponses. Les enfants utiliseraient leur capacités de verbalisation et donc de mémoire de travail auditivo-verbale pour maintenir l'information en mémoire et pouvoir donner une réponse.
- une corrélation entre les temps de réponse du transfert T-T de formes composites et les épreuves visuo-spatiales. Ces corrélations sont positives. Les enfants dysphasiques montrent des difficultés pour l'ensemble de ces épreuves visuo-spatiales et ils sont lents à ce transfert. Ces corrélations semblent indiquer que les enfants qui ont des difficultés visuo-spatiales et donc à se représenter spatialement les formes composites n'utiliseraient pas l'image mental comme recodage pour permettre le transfert.
- une corrélation entre les temps de réponse au transfert T-V de formes simples et composites et V-T de formes composites, et l'épreuve Reconnaissance de formes du Kabc, dans laquelle l'enfant doit reconnaître un objet familier ou un animal à partir d'un dessin incomplet. Cette épreuve est à considérer comme une épreuve de dénomination pour ces enfants qui par ailleurs n'ont pas montrer de difficultés particulière à reconnaître les objets. Ces corrélations montrent à nouveau le lien pour ces enfants entre les capacités de verbalisations et la réussite aux transferts intermodales.

En résumé, les corrélations pour les enfants dysphasiques, nous indiquent que d'une part, les transferts font appel aux capacités de verbalisation et d'autre part que les transfert T-T de formes simples et composites font appel plus particulièrement aux capacités de mémoire visuelle et auditive. Par ailleurs, le transfert T-T de formes composites est lié inversement aux capacités visuo-spatiales.

2.3. Pour les enfants dyspraxiques

A) Analyses sur les bonnes réponses

	Formes composites
	V-T 2
Position dans l'espace	.72 p.046

Tableau 13 : Corrélation significative entre la performance à l'épreuve Position dans l'espace et le transfert V-T à l'aide du test non-paramétrique de Spearman.

Lorsque nous analysons les bonnes réponses, une seule corrélation significative est retrouvée (tableau 13). Plus les performances à l'épreuve Position dans l'espace sont bonnes, meilleures sont les performances au transfert V-T de formes composites. L'épreuve Position dans l'espace nécessite de garder en mémoire la position d'un objet afin de choisir parmi plusieurs propositions d'orientation de ce même objet, quel est la même orientation. La tâche de transfert V-T de formes composites est à peu près la même tâche mais en changeant de modalité. L'enfant doit garder en mémoire la position de la forme composite qu'il a vue pour déterminer dans la phase test si la forme qu'il touche est dans la même position ou non.

B) Analyses sur les temps de réponse

	Formes simples		Formes composites	
	T-V	V-T	T-T	V-T
QIP				-.79 p.036
IOP				-.77 p.072
VT	-.71 p.071	-.86 p.013	-.71 p.071	-.82 p.023
Symboles	-.78 p.037	-.93 p.003		-.80 p.031
Assemblage d'objet		-.75 p.083		-.93 p.008
Reversal		-.78 p.022		-.64 p.088
Mouvement mains				-.65 p.078
Arithmétique		-.82 p.023		-.79 p.036

Tableau 14 : Corrélations significatives entre les performances aux épreuves neuropsychologiques et aux temps de réponse aux épreuves de transfert à l'aide du test non-paramétrique de Spearman. En rouge, les corrélations significatives à $p < .05$ et en noir jusqu'à $p < .10$.

L'analyse fait apparaître 16 corrélations négatives (tableau 14), ce qui indique que plus les performances aux tests neuropsychologiques sont bonnes plus les temps de réponse aux transferts sont brefs.

D'après le tableau 14, nous observons plus précisément :

- une corrélation entre les temps de réponse du transfert V-T de formes composites et l'épreuve Mouvement de mains où il s'agit de reproduire une séquence gestuelle avec un nombre croissant de gestes (empan). Cette épreuve nécessite un traitement séquentiel et la capacité de reproduire des gestes, ce qui est difficile pour ces enfants qui présentent des troubles praxiques gestuelles. Dans ce transfert, l'enfant doit explorer en tout quatre formes lors de la phase test ce qui demande un traitement séquentiel, ainsi qu'une efficacité de l'exploration pour permettre une réponse ce qui peut expliquer cette corrélation.
- une corrélation entre les temps de réponse du transfert V-T de formes composites et le QIP et tendancielllement l'indice d'Organisation Perceptive; ainsi qu'une corrélation entre

les temps de réponse aux transferts V-T de formes simples et composites avec l'indice Vitesse de Traitement, les épreuves Symboles, Assemblage d'objet, Reversal et Arithmétique. Ces corrélations suggèrent que pour les enfants dyspraxiques, le transfert V-T sollicite plus spécifiquement des capacités de traitement de symboles avec une orientation propre (Symboles et Reversal), d'intégration visuelle avec manipulation (Assemblage d'objet) et de mémoire de travail (Arithmétique).

En résumé, les corrélations pour les enfants dyspraxiques, nous indiquent que les transferts T-V, V-T de formes simples et V-T de formes composites varient de la même façon que les capacités visuo-spatiale, de vitesse de traitement et de mémoire de travail.

3. Conclusion

Nous avons analysé les corrélations entre les épreuves neuropsychologiques et les épreuves de transfert intermodal entre le toucher et la vision pour les enfants dyslexiques, dysphasiques et dyspraxiques afin de comprendre quelles capacités cognitives étaient impliquées dans leurs échecs ou réussites aux transferts.

Nous avons émis l'hypothèse d'un lien entre les performances au transfert intermodal et la mémoire de travail car l'évaluation neuropsychologique montrait des troubles chez tous les enfants et que les tâches de transfert requiert en premier lieu cette capacité. Cette hypothèse est en partie confirmée. Les corrélations observées entre les épreuves de mémoire de travail et les tâches de transfert se retrouvent surtout chez les enfants dyslexiques et dysphasiques et ce principalement lors du transfert T-T.

Concernant les épreuves visuo-spatiales, nous avons fait l'hypothèse d'un lien avec les tâches de transfert pour les formes composites, puisqu'elles nécessitent des capacités de

perception des relations spatiales. Les résultats vont dans le sens de cette hypothèse. Nous observons en effet, une corrélation positive avec le QIP pour les enfants dyslexiques et dyspraxiques, avec le Benton ligne pour les enfants dyslexiques et le test de Reversal pour les enfants dyspraxiques. Dans le même sens, les études de Rose et Felman (1995) et Rose, Feldman, Futterweit et Jankowski (1998) chez des enfants tout-venant testés à 6 ans puis à 11 ans montrent l'existence d'une corrélation entre les performances au transfert T-V de formes et le facteur spatial de la batterie de test SCA (Specific Cognitive Abilities). Le fait que le transfert toucher-vision à ces deux âges soit corrélé au facteur spatial suggère que les compétences spatiales sous-tendent cette continuité. En revanche, pour les enfants dysphasiques, nous observons une corrélation inverse entre le transfert T-T de formes composites et les épreuves visuo-spatiales.

Selon les spécificités de chaque pathologie, nous avons également émis l'hypothèse d'observer des corrélations entre les tâches de transfert et les épreuves de traitement séquentiel pour les enfants dyslexiques. Cette hypothèse est en partie confirmée par une corrélation positive avec le transfert T-T de formes simples. Concernant les enfants dysphasiques, notre hypothèse est également vérifiée, car nous observons des corrélations avec les épreuves verbales. Enfin, pour les enfants dyspraxiques, nous observons des corrélations entre les tâches de transfert V-T de formes simples et composites et les épreuves visuo-spatiales.

Ainsi, nous pouvons dire que l'intégration sensorielle entre le toucher et la vision semble fonctionnelle mais qu'elle est perturbée ou ralentie par les troubles spécifiques de chaque pathologie.

DISCUSSION GENERALE

L'objectif général de cette thèse était d'étudier les capacités d'intégration sensorielle entre le toucher et la vision chez des enfants présentant des troubles des apprentissages. Une telle étude n'ayant jamais été conduite, nous avons, dans un premier temps, évalué les compétences cognitives de ces enfants pour comprendre ultérieurement leurs performances dans les tâches de transfert intra et intermodal que nous leur avons proposées. Nous avons également observé des enfants tout-venant pour tester notre matériel construit spécialement pour cette étude et comparer leurs performances avec les enfants présentant des troubles des apprentissages.

Notre première étude confirme bon nombre de connaissances concernant les profils neuropsychologiques des enfants dyslexiques, dysphasiques et dyspraxiques. Cette évaluation commune dans ces trois pathologies a permis de mettre en lumière un trouble massif de mémoire de travail auditivo-verbale. Des études menées sur l'évolution de la mémoire de travail chez l'enfant par Gathercole (1998) montrent que le système phonologique semble présent chez l'enfant dès l'âge de 2-3 ans, du moins au niveau de l'unité de stockage ; en revanche, ce n'est pas avant 7 ans que l'enfant découvrirait la stratégie de répétition à travers la boucle articulatoire. Or le cerveau ne saurait conserver intactes les informations dans l'unité de stockage phonologique que pendant quelques secondes, si celles-ci ne sont pas réactivées par répétition sub-vocale. Toutefois, la progression des capacités de répétition phonologique évolue rapidement entre 4 et 5 ans. Dès l'âge de 7 ans, en effet, on assiste progressivement à la mise en place de la boucle articulatoire et celle-ci servira de plus en plus souvent à encoder du matériel non entendu (mots écrits ou images). Ce matériel profite alors d'un double encodage à travers le

système phonologique et la tablette visuo-spatiale qui maximise l'empan de mémoire. La maturation des fonctions préfrontales d'autorégulation, tout au cours de la pré adolescence et de l'adolescence, permet ainsi une utilisation maximale de l'administrateur central décrit par Baddeley (1986), grâce à laquelle le sujet apprend véritablement à gérer le double traitement phonologique et visuo-spatial. Ces observations suggèrent un dysfonctionnement frontal dans les troubles des apprentissages car la moyenne d'âge de nos enfants est de 9 ans, les plus jeunes ayant 7 ans et les plus âgés 12 ans.

Par ailleurs, les données recueillies par Paulesu, Frith et Frackowiak (1993) à partir des techniques d'imagerie cérébrale suggèrent que l'unité de stockage phonologique dépendrait de gyrus supra-marginalis hémisphérique gauche alors que le mécanisme d'autorépétition sous-vocale impliquerait la zone de Broca de ce même hémisphère (Démonet, Price, Wise & Frackowiak, 1994). La zone de Broca est, entre autre, impliquée dans la lecture et la dénomination, cette implication explique le lien avec les troubles de la lecture dans la dyslexie.

Notre deuxième étude effectuée chez les enfants tout-venant a permis de conforter le fait que l'évolution des capacités de transfert intermodal à l'âge scolaire dépend entre autre de la qualité de l'exploration haptique et éventuellement visuelle. Cette étude a permis d'apporter des données concernant la reconnaissance des formes géométriques classiques. Nos résultats montrent qu'à partir de 5 ans, les formes simples étaient aisément et rapidement reconnues quel que soit le type de transfert. En ce qui concerne la reconnaissance des rapports topologiques, nos résultats montrent cette fois que ce n'est qu'à 6-7 ans que les performances commencent à s'améliorer, âge du passage au CP et de l'apprentissage de la lecture.

Enfin, notre troisième étude effectuée chez les enfants présentant des troubles des apprentissages donne des résultats allant dans le sens d'une bonne intégration sensorielle entre le toucher et la vision chez les enfants dyslexiques, dysphasiques et dyspraxiques. Plus précisément, concernant les enfants dyslexiques, nos résultats montrent une réussite aux tâches de transfert intra et intermodal dont les performances sont comparables à celles des enfants tout-venant. Ce résultat isole le trouble d'intégration audition-vision observé dans le cadre de la dyslexie et permet de conforter l'utilisation de la modalité haptique comme médium pour renforcer le lien entre la vision et l'audition (Bara, Gentaz, Colé, 2004). Les enfants dysphasiques présentent également de bonnes performances, équivalentes à celles des enfants tout-venant. Toutefois, leurs temps de réponses sont allongés par rapport aux enfants tout-venant et dyslexiques. Etant donné que la moitié des enfants dysphasiques avaient des troubles praxiques associés, l'allongement des temps de réponses peut provenir des difficultés d'exploration et du traitement cognitif. Par ailleurs, nos résultats chez les enfants dyslexiques et dysphasiques montrent également une plus grande rapidité du transfert T-V sur les transferts T-T et V-T comme pour les sujets tout-venant, ce qui va dans le sens des études (Sann et Streri, 2007 ; Rose et Orlian, 1991 ; Stolz-loike et Bornstein, 1987) montrant une facilitation du transfert T-V sur les transferts T-T et V-T. Cette observation renforce également le caractère fonctionnel de l'intégration sensorielle entre le toucher et la vision pour les enfants dyslexiques et dyspraxiques.

Concernant les enfants dyspraxiques, leurs performances sont bonnes et comparables à celles des enfants tout-venant au transfert T-V mais pas au transfert T-T et V-T ce qui semble refléter plus leurs troubles cognitifs qu'un trouble d'intégration sensorielle toucher-vision. Plusieurs explications peuvent être avancées. Nous avons vu que chez les enfants tout-venant, le transfert T-V de formes était plus facile que le transfert T-T et V-T car dans ce transfert on passe de la modalité la moins efficace, le toucher, à la

modalité la plus efficace, la vision. Concernant nos enfants dyspraxiques, ils cumulent des difficultés praxiques gestuelles qui perturbent l'exploration tactile, des troubles visuo-perceptifs qui perturbent la prise d'information dans la modalité visuelle et des troubles visuo-constructifs qui perturbent la reconstitution de l'image mentale. On aurait donc pu s'attendre à un échec massif à l'ensemble des épreuves proposées. Mais nos résultats montrent de bonnes performances au transfert T-V, avec tout de même un temps de réponse beaucoup plus long que les enfants tout-venant, dyslexiques et dysphasiques. Les transferts T-T et V-T nécessitent tous deux la modalité tactile en phase test, alors que pour le transfert T-V, même si la prise d'information n'est pas parfaite lors de la phase de familiarisation, elle semble suffisante pour une reconnaissance visuelle en phase test. Ce qui est observé notamment chez le bébé dès la naissance (Streri et Gentaz, 2003, 2004 ; Sann et Streri, 2007).

Le choix d'un matériel constitué de formes composites comportant une orientation, nous a permis d'observer que les enfants dyslexiques avaient des difficultés plus importantes d'orientation selon l'axe droite/gauche que haut/bas dans la modalité tactile. Nos résultats semblent montrer que la perception de l'orientation dans la modalité tactile est équivalente quelle que soit l'orientation des formes composites, selon un axe droite/gauche ou haut/bas. En effet, nos résultats montrent de meilleures performances pour la reconnaissance des formes composites orientées selon un axe haut/bas par rapport à celles orientées selon un axe droite/gauche au transfert V-T, tendancielle au transfert T-T, et équivalents au transfert T-V. Au regard de ces différences entre les transferts, et du fait que les enfants tout-venant ne montrent pas de différence selon l'orientation des formes composites à tous les transferts, nous pouvons penser que l'image mentale qui s'effectue suite à l'exploration haptique (T-T et T-V) conserve correctement l'orientation,

alors que l'image mentale constituée suite à l'exploration visuelle (V-T) entraîne des erreurs plus importantes lors de la reconnaissance pour les formes orientées selon l'axe droite/gauche par rapport à l'axe haut/bas.

Cette difficulté de prise d'information dans la modalité visuelle est en accord avec les confusions visuelles décrites dans la dyslexie, mais également avec les performances au test de Reversal observées dans notre groupe d'enfants dyslexiques. Le fait que les enfants dyslexiques semblent faire moins de confusions selon un axe droite/gauche dans la modalité haptique nécessite d'être confirmé par d'autres études. En effet, il serait intéressant d'effectuer un contrôle vision-vision pour les formes composites car tout laisse à penser que les enfants dyslexiques auraient fait des erreurs en miroir. De plus, une étude T+V-V de formes ou de lettres orientées selon un axe horizontal serait intéressante pour confirmer si la perception des orientations en haptique est plus efficace qu'en visuelle seule et si la perception haptique aide la perception visuelle.

En résumé, l'étude des corrélations entre les épreuves neuropsychologiques et les tâches de transfert a montré que ces tâches variaient selon les spécificités des troubles de chacun, traitement séquentiel pour les enfants dyslexiques, épreuves verbales pour les enfants dysphasiques et épreuves impliquant la motricité pour les enfants dyspraxiques. Ils ont tous en commun des corrélations positives avec les épreuves de mémoire de travail auditivo-verbale et visuelle. Les enfants ont donc utilisé la mémoire à court terme phonologique et visuo-spatiale décrite par Wilson (1987) qui requiert un rappel simultané des informations, les deux garantissant une meilleure mémorisation. Nous observons également des corrélations positives pour tous les groupes avec les épreuves visuo-

spatiales notamment pour les transferts de formes composites. Ces corrélations traduisent la nature du matériel utilisé.

Par ailleurs, nos résultats vont dans le sens de l'étude de Rose, Feldman, Futterweit, et Jankowski (1998) qui montrait une corrélation avec le QI dans un groupe de 90 enfants, testés de 7 mois jusqu'à 6 ans, puis à nouveau à 11 ans, dans des tâches spatiales de transfert toucher-vision (H-V).

Enfin, les corrélations entre les épreuves verbales, visuo-spatiales et les tâches de transfert laissent supposer que les enfants codent l'information spatiale à mémoriser en lui donnant une étiquette verbale quand c'est possible et en utilisant une image mentale. En effet, les situations de transfert intermodal posent le problème de la conservation des données à transférer, et comment est représentée en mémoire l'information perceptive. Bushnell et Baxt (1999) ont montré que l'utilisation de formes ou d'objets connus est directement encodée au niveau sémantique ou au prototype en mémoire à long-terme. C'est ce que nous avons pu observer dans notre étude, bien que seul le carré, le rond et le triangle puissent être dénommés par un terme usuel, les autres formes et notamment les formes composites ont été verbalisées (par exemple, « là, c'est rond et à côté il y a un pic »). Concernant l'utilisation de l'image mentale, ces résultats sont en accord avec ce que nous avons décrit en introduction, l'image mentale d'une forme géométrique construite à partir d'une exploration tactile et visuelle est comparable. Ces corrélations montrent également que le recodage ne dépend pas uniquement de la nature du stimulus mais que les enfants ont utilisé toutes les connaissances possibles pour conserver au mieux l'information afin de la transférer.

Cette étude a permis d'observer des capacités relativement préservées d'intégration entre la vision et l'audition dans les troubles des apprentissages dont les limites dépendent des troubles plus ou moins sévères de chaque enfant avec un coût cognitif qui semble tout de même plus important que chez les enfants tout-venant. Toutefois, en prenant en compte ces limites, la modalité haptique associée à la modalité visuelle peut-être largement envisager dans la rééducation notamment des enfants dyslexiques. Par ailleurs, les tâches de transfert T-V étant significativement corrélées avec les capacités cognitives linguistiques et non-linguistique, peuvent être envisagées comme outil d'évaluation en neuropsychologie.

BIBLIOGRAPHIE

- Abravanel, E. (1972). How children combine vision and touch when perceiving the shape of objects. *Perception & Psychophysics*, 12, 171-175.
- Abravanel, E. (1973). Division of labor between eye and hand when perceiving shape. *Neuropsychologia*, 11, 207-211.
- Abravanel, E. (1981). Integrating the information from eyes and hands: A developmental account. In *Intersensory perception and sensory integration*. R. Walk & H. L. Pick (Eds.), New York: Academic Press, 71-107.
- Amedi, A., Malach, R., Hendler, T., Peled, S., & Zohari, E. (2001). Visuo-haptic object related activation in the ventral visual pathway. *Nature Neurosciences*, 4, 324-330.
- Amedi, A., Jacobson, G., Hendler, T., Malach, R. & Zohary, E. (2002). Convergence of visual and tactile shape processing in the human lateral occipital complex. *Cerebral Cortex*, 12, 1202-1212.
- Amedi, A., Von Kriegstein, K., Van Atteveldt, N.M., Beauchamp, M.S., & Naumer, M.J. (2005). Functional imaging of human crossmodal identification and object recognition. *Experimental Brain Research*, 166, 303-330.
- Andersen, R.A., Snyder, L.H., Bradley, D.C., & Xing, J. (1997). Multisensory representation of space in the posterior parietal cortex and its use in planning movements. *Annual Review of Neuroscience*, 20, 303-330.
- Association québécoise pour les enfants atteints d'audimutité (1995). *Les Actes du premier colloque sur l'audimutité*, Bibliothèque National du Canada, Montréal.
- Ayres, A.J. (1972). *Sensory integration and learning disorders*. Los Angeles, Western Psychological Services
- Ayres, A.J. (1979). *Sensory integration and the child*. Los Angeles, Western Psychological Services
- Baddeley, A. D. (1986). *Working memory*. Oxford: Clarendon Press.
- Badian, N.A. (2005). Does a visual-Orthographic deficit contribute to reading disability ? *Annals of Dyslexia*, 55, 1, 28-52.

- Ballasteros, S., Manga, D., & Reales, J. M. (1997). Haptic discrimination of bilateral symmetry in 2-dimensional and 3-dimensional unfamiliar displays. *Perception & Psychophysics*, 59, 37-50.
- Banati, R.B., Goerres, G.W., Tjoa, C., Aggleton, J.P., & Grasby, P. (2000). The functional anatomy of visual-tactile integration in man: a study using positron emission tomography. *Neuropsychologia*, 38, 115-124.
- Bannatyme, A. (1971). Language, reading and reading disabilities. Thomas Publishing Company, Springfield, Illinois.
- Bara, F., Gentaz, E., & Colé, P. (2004). Effet de l'exploration visuo-haptique et haptique de lettres dans l'entraînement de préparation à la lecture. *A.n.a.e.*, 78, 189-194.
- Bara, F., Gentaz, E., Colé, P., & Sprenger-Charolles, L. (2004). The visuo-haptic and haptic exploration of letters increases the kindergarten – children's understanding of alphabetic principle. *Cognitive Development*, 19, 433-449.
- Beauchamp, S. (2005). See me, hear me, touch me : multisensory integration in lateral occipital-temporal cortex. *Current Opinion in Neurobiology*, 15, p145-153.
- Benton, A.L., Hamsher, K. deS., Varney, N.R., & Spreen, O. (1983). Judgment of Line Orientation. Oxford University Press, New York, États-Unis.
- Berthoz, A. (1997). Le sens du mouvement, Odile Jacob, Paris, 1997
- Biederman, I. (1987). Recognition by components: A theory of human image understanding. *Psychological Review*, 94, 115-145.
- Billard, C., De Becque, B., & Gillet, P. (1996). Dysphasie de développement et apprentissage de la lecture. In : Approche cognitive des troubles de la lecture et de l'écriture chez l'enfant et l'adulte. Charbonel, S., Martory, M.D., & Valdois, S. (eds). Solal, Marseille, 343-353.
- Billard, C., Pagnard, M., Touzin, M., Leroy-Malherbe, V., Baralle, M.E., Galbiati, C. & Pinton, F. (2005). Dyspraxies et dyslexies : a propos de cinq cas. Dans Collection neuropsychologie : Neuropsychologie de l'enfant et troubles du développement, Hommet, C., Jambaqué, I., Billard, C., Gillets eds. Solal, éditeur, Marseille.
- Bishop D.V. et al. (1995). Genetic basis of specific language impairment : evidences from a twin study. *Dev Med Child Neurol* 37, 56-71.
- Borel-Maisonny, S. (1966). Langage oral et écrit. Pédagogie des notions de base. Delachaux et Niestlé, 4^{ème} édition.
- Boucart, M. & Humphreys, G.W. (1997). Integration of physical and semantic information in object processing). *Perception*, 26, 1197-1209.

- Birch, H. G., & Lefford, A. (1963). Intersensory development in children. *Monographs of the Society for Research on Child Development*, 28, 1-87.
- Brendler, K., & Lachmann, J. (2001). Letter reversals in the context of the functional coordination deficit model of dyslexia. In : Proceedings of the international society for psychophysics (Eds.). Sommerfeld, E., Kompass, R., Lachmann, T. Lengerich : Pabst, 308-313.
- Breton, S., & Léger, F. (2006). Mon cerveau ne m'écoute pas. Comprendre et aider l'enfant dyspraxique. CHU Sainte Justine, Montréal.
- Breznitz, Z. (2002). Asynchrony of visual-orthographic and auditory-phonological word recognition processes : an underlying factor in dyslexia. *Reading and Writing : An Interdisciplinary Journal*, 15, 15-42.
- Brumaghi, S. H., & Brown, D. R. (1969). Perceptual equivalence between visual and tactual stimuli: An anchoring study. *Perception & Psychophysics*, 4, 175-179.
- Bryant, P., Jones, B., Claxton, V., & Perkins, G. (1968). Recognition of shapes across modalities. *Nature*, 240, 303-304.
- Bryant, P. (1974). Perception and understanding in young children. Londres: Methuen.
- Bryant, P., & Bradley, L. (1985). Children's reading problems : psychology and education. Oxford, UK : Blackwell.
- Buschnell, E.W., Baxt, C. (1999). Children's haptic and cross-modal recognition with familiar and unfamiliar objects. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, Vol 25, No. 6, 1867-1881.
- Carreiras, M., & Codina, M. (1992). Spatial cognition of the blind and sighted: Visual and amodal hypotheses. *CPC - Currents Psychology on Cognition*, 12, 51-78.
- Casey, B.J., Tottenham, N., Conroy, L., & Durston, S. (2005). Imaging the developing brain: what have we learned about cognitive development? *Trends in Cognitive Sciences*, 9, 104-110.
- Castles, A., Coltheart, M. (1993). Varieties of developmental dyslexia. *Cognition*, 47, 149-180.
- Cermak, S.A. (1985). Developmental dyspraxia. In: Neuropsychological Studies of Apraxia and Related Disorders, Roy, E.A. Elsevier Sciences Publishers, North Holland, 225-245.
- Chevrie-Muller, C., Simon, A.M., & Fournier. (1997). La batterie langage oral, langage écrit, mémoire et attention. ECPA.

- Chevrie-Muller, C., & Plaza, M. (2001). Les nouvelles épreuves pour l'examen du langage (N-EEL). ECPA.
- Chiron, C., Jambaque, I., Nabbout, R., Lounes, R., Syrota, A., Dulac, O. (1997). The right brain hemisphere is dominant in human infants. *Brain*, 120, 1057-1065.
- Chiron, C., Chiron, F., Masure, M.C., Duvelleroy-Hommet, C., Leon, F., Billard, C. (1999). Hemispheric specialization using SPECT and stimulation tasks in children with dysphasia and dystrophia. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 41, 512-520.
- CIM-10 (1996). Classification International des Maladies. OMS.
- Connolly, K., & Jones, B. (1970). A developmental study of afferent-reafferent integration. *British Journal of Psychology*, 61, 259-266.
- Critchley, M. (1953). *The parietal lobe*. New York: Hafner.
- Critchley, M. (1974). La dyslexie vraie et les difficultés de lecture de l'enfant. Privat Editeur, Toulouse.
- Crosson, B. (1985). Sub-cortical functions in language : a working model. *Brain and Language*.
- Davidson, P.W., Pine, R. & Wiles-Kettenmann, M. (1980). Haptic-Visual shape matching by mentally retarded children : exploratory activity an complexity effects.
- De Agostini, M., Kremin, H., Curt, F. & Dellatolas, G. (1996). Immediate memory in children aged 3 to 8 : digits, familiar words, unfamiliar words, pictures and Corsi. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 36, 4-10.
- De Fries, J. C., Fulker, D. W., & LaBuda, M. C. (1987). Evidence for a genetic aetiology in reading disability of twins. *Nature*, 329(6139), 537-539.
- Deibert, E., Kraut, M., Kremen, S., & Hart, Jr. J. (1999). Neural pathways in tactile object recognition. *Neurology*, 52, 1413-1417.
- Démonet, J.F., Price, C., Wise, R., Frackowiak, R.S.J. (1994). A PET study of cognitive strategies in normal subjects during language tasks influence of phonetic ambiguity and sequence processing on phoneme monitoring. *Brain: A Journal of Neurology*, 117(4), 671-682.
- DSM-IV (1996). Diagnostic and statistical manual of mental disorders. 4^{ème} édition. American Psychiatric Association. Masson, Paris.
- Duvelleroy-Hommet, C., Billard, C., Lucas, B. (1995). Sleep EEG and developmental dysphasia : lack of a consistent relationship with EEG paroxysmal activity during sleep. *Neuropediatrics*, 26, 14-18.

- Dykman, R.A., & Ackerman, P.T. (1991). ADD and specific reading disability : separate but often overlapping disorders. *Journal of Learning Disabilities*, 22, 3-13.
- Eckert, M. (2004). Neuroanatomical markers for dyslexia: a review of dyslexia structural imaging studies. *Neuroscientist*, 10(4), 362-371.
- Edfeldt, A. (1970). Reversal test. Paris : ECPA.
- Expertise Collective (2007). Dyslexie, Dysorthographe, Dyscalculie. Bilan des données scientifiques. Inserm.
- Fernald, G. (1943). Remedial techniques in basic school subjects. New York : Mc Graw-Hill.
- Fischer, W., Liberman, I., & Shankweiler, D. (1978). Reading reversals and developmental dyslexia: A further study. *Cortex*, 14, 496-510.
- Galaburda, A. M., Sherman, G. F., Rosen, G. D., Aboitiz, F., & Geschwind, N. (1985). Developmental dyslexia: four consecutive patients with cortical anomalies. *Ann Neurol*, 18(2), 222-233.
- Gallagher, A., Frith, U., & Snowling, M. (2000). Precursors of literacy delay among children at genetic risk of dyslexia. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 41, 203-213.
- Garnier-Lasek, D. (2000). La lecture par imprégnation syllabique. *Ortho Magazine*, 34, 12-14.
- Garnier-Lasek, D., Wavreille, F. (2004). La rééducation du langage oral. L'état des connaissances. Langage oral. Signes Editions, 81-97.
- Garbin, C. P., & Bernstein, I. H. (1984). Visual and haptic perception of tri-dimensional solid forms. *Perception & Psychophysics*, 36, 104-110.
- Garbin, C. P. (1988). Visual-haptic perceptual nonequivalence for shape information and its impact upon cross-modal performance. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 14, 547-553.
- Garbin, C. P. (1990). Visual-touch perceptual equivalence for shape information in children and adults. *Perception & Psychophysics*, 48, 271-279.
- Garvill, J., & Molander, B. (1973). Effects of standard modality, comparison modality and retention interval on matching of form. *Scandinavian Journal of Psychology*, 14, 203-206.
- Gathercole, S.E., Baddeley, A.D. (1990). Phonological memory deficit in language disordered children : is there a causal connection ? *Journal of memory and language*, 29, 336-360.

- Gathercole, S.E (1998). The development of memory. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 39, 3-27.
- Genard, N., Mousty, P., Content, A., Alegria, J., Leybaert, J., & Morais, J. (1998). Methods to establish subtypes of developmental dyslexia. In Reitsma, P., & Verhoven, L. (Eds.) *Problems and interventions in literacy development*. Dordrecht, The Netherlands : Kluwer, 163-176.
- George, F. (2007). Les dysphasies. *Rééducation Orthophonique*, 230, 101-118.
- Gerard, C. et Brun, V. (2003). Les dysphasies. Masson. Paris.
- Giannopulu, I., Cusin, F., Escalona, S., & Dellatolas, G. (2007). Cognitive associations of bimanual haptic visual recognition in preschoolers. *Child Neuropsychology*, 12, 1-10.
- Gibson, J. J. (1962). Observation on active touch. *Psychological Review*, 69, 477-491.
- Gibson, E.J., Gibson, J.J., Pick, A.D. & Osser, H. (1962). A developmental study of the discrimination of letter-like forms. *Journal of compared and physiological Psychology*, 55, 897-906.
- Gogtay, N., Giedd, J.N., Lusk, L., Hayashi, K.M., Greenstein, D., Vaituzis, A.C., Nugent, T.F., 3rd, Herman, D.H., Clasen, L.S., Toga, A.W., Rapoport, J.L., & Thompson, P.M. (2004). Dynamic mapping of human cortical development during childhood through early adulthood. *Proceedings of National Academic of Sciences of the United States of America*, 101, 8174-8179.
- Graziano, M.S.A., & Gross, C.G. (1993). A bimodal map of space : Somatosensory receptive fields in the macaque putamen with corresponding visual receptive fields. *Experimental Brain Research*, 97, 96-109.
- Grefkes, C., Weiss, P.H., Zilles, K., & Fink, G.R. (2002). Crossmodal processing of object features in human anterior intraparietal cortex : an fMRI study implies equivalencies between humans and monkeys. *Neuron*, 35(1), 173-184.
- Grefkes, C., & Fink, G.R. (2005). The functional organization of the intraparietal sulcus in humans and monkeys. *Journal of anatomy*, 207(1), 3-17.
- Grove, N., & Walker, M. (1990). The Makaton vocabulary: Using manual signs and graphics symbols to develop interpersonal communication AAC (Augmentative and Alternative Communication). MVDP.
- Habib, M. (1997). Dyslexie : le cerveau singulier. Solal, Paris.
- Habib, M., Espesser, R., Rey, V., Giraud, K., Bruas, P., & Gres, C. (1999). Training dyslexics with acoustically modified speech : evidence of improved phonological performance. *Brain and Cognition*, 40, 143-146.

- Hadjikhani, N., & Roland, P.E. (1998). Cross-modal transfer of information between the tactile and the visual representations in the human brain : A positron emission tomographic study. *Journal of Neuroscience*, 18(3), 1072-1084.
- Hallett, M., Fieldman, J., Cohen, L.G., Sadato, N. et Pascual-Leone, A.(1994). Involvement of primary motor cortex in motor imagery and mental practice. *Behavior Brain Science*, 17, 210.
- Hallgren, B. (1950). Congenital word-blindness. A clinical genetic study. *Acta Psychiatrica et Neurologica*, suppl65 : 1-287.
- Hammil, D.D., Pearson, N.A., & Voress, J.K. (1993). Developmental Test of Visual Perception, Second Edition. Pro-ed, Austin, Texas.
- Hatwell, Y. (1986). *Toucher l'espace*. Lille: Presses Universitaires de Lille.
- Hatwell, Y. (1987). Motor and cognitive functions of the hand in infancy and childhood. *International Journal of Behavioral Development*, 10, 509-526.
- Hatwell, Y., Orliaguet, J. P., & Brouty, G. (1990). Effects of object properties, attentional constraints and manual exploratory procedures on haptic perceptual organization: a developmental study. In H. Bloch & B. Bertenthal (Eds.), *Sensory-motor organizations and development in infancy and early childhood* (pp. 315-335). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Hatwell, Y. (1994). Transferts intermodaux et intégration intermodale. In M. Richelle, J. Requin, & M. Robert (Eds.), *Traité de Psychologie Expérimentale - Volume 1* (pp. 543-584). Paris: Presses Universitaires de France.
- Hatwell, Y., Streri, A. & Gentaz, E. (2000). Toucher pour connaître. Psychologie cognitive de la perception tactile manuelle. Paris : Presses Universitaires de France.
- Heller, M. A., & Schiff, W. (1991). *The psychology of touch*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Heller, M.A., Brackett, D.D., Scroggs, E., Steffen, H., Heatherly, K., & Salik, S. (2002). Tangible pictures : Viewpoint effects and linear perspective in visually impaired people. *Perception*, 31, 747-769.
- Hinshelwood, J. (1900). Congenital word-blindness. *Lancet*, 1, 1506-1508.
- Hoffman, L.M., & Gillam, R.B (2004). Verbal and spatial information processing constraints in children with specific language impairment. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 47, 114-125.
- Hulme, C. (1979). The interaction of visual and motor memory for graphic forms following tracing. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 31, 249-261.

- Hulme, C. (1981). Reading retardation and multisensory teaching. London, : Routledge & Kegan Paul.
- Hummel, J., & Biederman, I. (1992). Dynamic binding in a neural network for shape recognition. *Psychological Review*, 99, 480-517.
- Jones, B., & Connolly, K. (1970). Memory effects in cross-modal matching. *British Journal of Psychology*, 61, 267-270.
- Jones, B. (1981). The developmental significance of cross-modal matching. In R. Walk & H. L. Pick (Eds.), *Intersensory perception and sensory integration* (pp. 106-136). New York: Academic Press.
- Juurmaa, J., & Lehtinen-Railo, S. (1994). Visual experience and access to spatial knowledge. *Journal of Visual Impairment and Blindness*, 88, 157-170.
- Kamhi, A.G. (1981). Nonlinguistic symbolic and conceptual abilities of language-impaired and normally developing children. *Journal of Speech and Hearing Research*, 24, 446-453.
- Kaufman, A.S. (1981). The WISC-R and learning disabilities assessment : State of the art. *Journal of learning disabilities*, 14, 120-126.
- Kaufman, A.S., & Kaufman, N.L. (1993). K-ABC, Batterie pour l'examen psychologique de l'enfant. Paris : Editions du Centre de Psychologie Appliquée.
- Kerr, N. H. (1983). The role of vision in "visual imagery" experiments: Evidence from congenitally blind. *Journal of Experimental Psychology: General*, 112, 265-267.
- Kitada, R., Kito, T., Saito, D.N., Kochiyama, T., Matsumura, M., Sadato, N., & Lederman, S.J. (2006). Multisensory activation of the intraparietal area when classifying grating orientation : a functional magnetic resonance imaging study. *Journal of Neuroscience*, 26(28), 7491-501.
- Klatzky, R. L., Golledge, R. G., Loomis, J. M., Cicinelli, J. G., & Pellegrino, J. W. (1995). Performance of blind and sighted persons on spatial tasks. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 89, 70-82.
- Klingberg, T., Hedenus, M., Temple, E., Salz, T., Gabrieli, J.D., Moseley, M.E., & Poldrack, R.A. (2000). Microstructure of temporo-parietal white matter as a basis for reading ability: evidence from diffusion tensor magnetic resonance imaging. *Neuron*, 25, 493-500.
- Korkman, M., Kirk, U., & Kemp, S. (2003). Bilan neuropsychologique de l'enfant : NEPSY. Paris : LEs Editions du Centre de Psychologie Appliquée.

- Laasonen, M., Tomma-Halme, J., Lahti-Nuuttila, P., Service, E., & Virsu. (2000). Rate of information segregation in developmentally dyslexic children. *Brain and Language*, 75, 66-81.
- Lanzi, G., Fazzi, E., Ugget, C., Cavallini, A., Danovas, S., Eggatto, M.G, Ginerva, O.F., Salati, R., Bianchi, P.E. (1998). Cerebral visual impairment in periventricular leukomalacia. *Neuropediatrics*, 29(3), 145-50.
- Lederman, S. J., & Klatzky, R. L. (1987). Hand movements: A window into haptic object recognition. *Cognitive Psychology*, 19, 342-368.
- Lederman, S.J., Summers, C., & Klatzky, R.L. (1996). Cognitive salience of haptic object properties : role of modality-encoding bias. *Perception*, 25, 983-998.
- Lederman, S. J. , & Klatzky, R. L. (1997). Relative availability of surface and object properties during early haptic processing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 23, 1680-1707.
- Lefavrais, P. (1967). Manuel du test de l'Alouette : test d'analyse de la lecture et de la dyslexie. Révision. ECPA, Paris.
- Leonardo, M., Fieldman, J., Sadato, N., Campbell, G Ibanez, V., Cohen, L., Deiber, M.P., Jezard, P., Pons, T, Turner, R, Le Bihan, D. et Hallett, M. (1995). A functional magnetic resonance imaging study of cortical regions associated with motor task execution and ideation in humans. *Human Brain Map*, 3, 83-92.
- Lepage, M., McIntosh, A.R., & Tulving, E. (2001). Transperceptual encoding and retrieval processes in memory : A pet study of visual and haptics objects. *NeuroImage*, 14, 572-584.
- Lewis, B.A et Thompson, L.A. (1992). A study of developmental speech and language disorders in twins. *J Speech Hear Res* 35, 1086-94.
- Liberman, I.Y., Mann, V., Shankweiler, D., & Werfma, M. (1982). Children's memory for recurring linguistic and non-linguistic materiel in relation to reading ability. *Cortex*, 18, 367-375.
- Livingstone, M.S., Rosen, G.D., Drislane, F.D., Galaburda, A.M. (1991). Physiological and anatomical evidence for a magnocellular defect in developmental dyslexia. *Proc. Natl. Acad. Sci*, 88, 7943-7947.
- Locher, P. J., & Wagemans, J. (1993). Effects of element type and spatial grouping on symmetry detection. *Perception*, 22, 565-587.
- Loomis, J.M. (1982). Analysis of haptic and visual confusion matrices. *Perception & Psychophysics*, 31, 41-52.

- Lovegrove, W.J., Bowling, A., Badcock, D., & Blackwood, M. (1980). Specific reading disability: differences in contrast sensitivity as a function of spatial frequency. *Science*, 210(4468), 439-440.
- Lovegrove, W.J., Martin, F., Bowling, A., Blackwood, M., Badcock, D., & Paxton, S. (1982). Contrast sensitivity functions and specific reading disability. *Neuropsychologia*, 20(3), 309-315.
- Lovenfosse-Dantinne G. (1992). Méthode Lecocq-Dantinne. Dossier dysphasie de développement. *L'orthophoniste*, 118, p5-6.
- Lovett, M.W. (1992). Developmental dyslexia : In Handbook of Neuropsychology, Vol 7. Segalowitz, S.J., & Rapin, I.. New York, US : Elsevier Science, 163-185.
- Lussier, F. et Flessas, J. (2001). Troubles développementaux et de l'apprentissage. Neuropsychologie de l'enfant. Paris : Editions Dunod.
- Manis, F.R., Seidenberg, M.S., Doi, L.M., McBride-Chang, C., Peterson, A. (1996). On the basis of two subtypes of developmental dyslexia. *Cognition*, 58, 157-195.
- Marr, D. C. (1982). Vision: A computational investigation into the human representation and processing of visual information. San Francisco: Freeman.
- Mayringer, H., & Wimmer, H. (2000). Pseudonym learning by german speaking children with dyslexia : evidence for a phonological learning deficit. *Journal of Experimental Child Psychology*, 75, 116-133.
- Mazeau, M. (1995). Déficits visuo-spatiaux et dyspraxies de l'enfant ; du trouble à la rééducation. Paris : Masson.
- Mellet, E., Tzouri, N., Crivello, F., Joliot, M., Denis, M. et Mazoyer, B. (1996). Functional anatomy of spatial mental imagery generated from verbal instruction. *Journal of Neuroscience*, 7, 433-445.
- Menyuk P., Chesnik M., Liebergott JW. (1991). Predicting reading problems in at-risk children. *Journal of Speech Hearing Research*, 34, 893-903.
- Merabet, L., Thut, G., Murray, B., Andrews, J., Hsiao, S., & Pascual-Leone, A. (2004). Feeling by sight or seeing by touch ? *Neuron*, 42, 173-179.
- Miles, T.R. (1993). Dyslexia : The pattern of difficulties. London, Whurr.
- Milewski, A. E., & Laccino, J. (1982). Strategies in cross-modal matching. *Perception & Psychophysics*, 31, 273-275.
- Millar, S. (1994). Understanding and representing space. Theory and evidence from studies with blind and sighted children. Oxford: Clarendon Press.

- Milner, A., & Goodale, M.A. (1995). *The visual brain in action*. Oxford University Press, New York, U.S.
- Molina, M., & Jouen, F. (1998). Modulation of the palmar grasp behavior in neonates according to texture property. *Infant Behavior and Development*, 21, 659-666.
- Molina, M., & Jouen, F. (2001). Modulation of manual activity by vision in human newborns. *Developmental Psychobiology*, 38, 123-132.
- Montgomery, J. W. (1993). Haptic recognition of children with specific language impairment : effects of response modality. *Journal of Speech and hearing Research*, 36, 98-104.
- Morgan, P. (1896). A case of congenital word-blindness. *British Medical Journal*, 2, 1378.
- Nelson, H.E., & Warrington, E.K. (1980). An investigation of memory functions in dyslexic children. *British Journal of Psychology*, 71, 487-503.
- Newell, K. M., Shapiro, D. C., & Carlton, M. J. (1979). Coordinating visual and kinaesthetic memory codes. *British Journal of Psychology*, 70, 87-96.
- Newell, F.N, Woods, A.T., Mernagh, M., & Bühlhoff, H.H. (2005). Visual, haptic and crossmodal recognition of scenes. *Experimental Brain Research*, 161(2), 233-242.
- Newham, C., & McKenzie, B. E. (1993). Cross-modal transfer of sequential visual and haptic information by clumsy children. *Perception*, 22, 1061-1073.
- Ofman, W., & Shaevitz, M. (1963). The kinesthetic method in remedial reading. *Journal of experimental Education*, 3, 317-320.
- Owen, D., & Brown, D. (1970). Visual and tactual form discrimination: A psychophysical comparison within and between modalities. *Perception & Psychophysics*, 7, 302-306.
- Pagnard, M. (2004). Le travail de la voie d'adressage. L'état des connaissances. *Langage écrit*. Signes Editions, 110-115.
- Pakzad, S, & Rogé, B. (2004). Les performances des enfants dyslexiques dans le rappel des suites de chiffres. *A.N.A.E*, 16(3), 239-242.
- Paulesu, E., Frith, C.D., Frackowiak, R.S. (1993). The neural correlates of the verbal component of working memory. *Nature*, 362(6418), 342-345.
- Paulesu, E., Démonet, J.-F., Fazio, F., McCrory, E., Chanoine, V., Brunswick, N., et al. (2001). Dyslexia: Cultural Diversity and Biological Unity. *Science*, 291, 2165-2167.
- Piaget, J., & Inhelder, B. (1947). *La représentation de l'espace chez l'enfant*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Pick, A. D., & Pick, H. L. (1966). A developmental study of tactual discrimination in blind and sighted children and adults. *Psychonomic Science*, 6, 367-368.

- Plaza, M. (1999). Les défaillances du lexique orthographique : la dérobage du mot. *Fréquences*. Bulletin de l'Ordre des orthophonistes et audiologistes du Québec, 10 (3), 13-17.
- Plaza, M., & Cohen, H. (2003). the interaction between phonological processing, syntactic sensitivity and naming-speed in the reading and spelling performance of first grade children. *Brain and Cognition*, 53, 287-292.
- Plaza, M., & Cohen, H. (2004). Predictive influence of phonological processing morphological/syntactic skills and naming-speed on spelling performance. A longitudinal study from Grade 1 to Grade 2. *Brain and Cognition*, 55, 368-373.
- Plaza, M., & Cohen, H. (2005). Influence of auditory-verbal, visual-verbal, visual-visual processing speed on reading and spelling at the end of Grade I. *Brain and Cognition*, 57, 189-194.
- Plaza, M., & Cohen, H. (2007). The contribution of phonological awareness and visual attention in early reading and spelling. *Dyslexia*, 13, 67-76.
- Plomin, R., Owen, M. J., & McGuffin, P. (1994). The genetic basis of complex human behaviors. *Science*, 264(5166), 1733-1739.
- Potier, D. (2003). La rééducation orthophonique de l'enfant dysphasiques. In : Les dysphasies. Gérard, C. et Brun, V. Rencontres en rééducation. Masson. Paris.
- Prather, S.C., Votaw, J.R., & Sathian, K. (2004). Task specific recruitment of dorsal and ventral visual areas during tactile perception. *Neuropsychologia*, 42, 1079-1087.
- Pugh, K. R., Mencl, W. E., Jenner, A. R., Katz, L., Frost, S. J., Lee, J. R., et al. (2001). Neurobiological studies of reading and reading disability. *J Commun Disord*, 34(6), 479-492.
- Ramus, F. (2005). De l'origine biologique de la dyslexie. *Psychologie & Education*, 60, 81-96.
- Rapala, M.M., & Brady, S. (1990). Reading ability and short-term memory. *Reading and Writing : An Interdisciplinary Journal*, 2, 1-25.
- Rapin, I. et Allen, D.A. (1983). Developmental language disorders : nosologic considerations. In Kirk. U. (ed) : Neuropsychology of language , reading and spelling. New York : Academic Press.
- Revesz, G. (1950). *Psychology and art of the blind*. London: Longmans Green.
- Ricciardi, E., Bonino, D., Gentili, C., Sani, L., Pietrini, P., & Vecchi, T. (2006). Neural correlates of spatial working memory in humans : a functional magnetic resonance imaging study comparing visual and tactile processes. *Neuroscience*, 139, 339-349.

- Ringard, J.C, Veber, F. (2000). Plan d'action pour les enfants atteints d'un trouble spécifique du langage. Rapport du ministère de l'Éducation nationale.
- Rose, S. A., Gottfried, A. W., & Bridger, W. H. (1978). Cross-modal transfer in infants: Relationship to prematurity and socio-economic background. *Developmental Psychology*, 14, 643-652.
- Rose, S. A., Gottfried, A. W., & Bridger, W. H. (1981). Cross-modal transfer in 6-month-old infants. *Developmental Psychology*, 17, 661-669.
- Rose, S. A., Gottfried, A. W., & Bridger, W. H. (1983). Infant's cross-modal transfer from solid objects to their graphic representations. *Child Development*, 54, 686-694.
- Rose, S. A., & Orlian, E. K. (1991). Asymmetries in infant cross-modal transfer. *Child Development*, 62, 706-718.
- Rose, S. A. (1994). From hand to eye: Findings and issues in infant cross-modal transfer. In D. J. Lewkowicz & R. Lickliter (Eds.), *The development of intersensory perception. Comparative perspectives*. (pp. 265-284). Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- Rose, S. A., Feldman, J. F. (1995). Prediction of IQ and specific cognitive abilities at 11 years from infancy measures. *Developmental Psychology*, 31, 685-696.
- Rose, S. A., Feldman, J. F., Futterweit, L. R., & Jankowski, J. J. (1998). Continuity in tactual-visual cross-modal transfer; Infancy to 11 years. *Developmental Psychology*, 34, 435-440.
- Rouleau, N. (1999). Méthode d'enseignement multisensorielle de la calligraphie ABC Boum !. Montréal.
- Roth, M., Decety, J., Raybaudi, M., Massarelli, R., Delon-Martin, C., Segebarth, C., Morand, S., Gemignani, A., Décorps, M. et Jeannerod, M. (1996). Possible involvement of primary motor cortex in mentally simulated movement : a functional magnetic resonance imaging study. *Neuroreport*, 7, 1280-1284.
- Ruff, H. A., & Kohler, C. J. (1978). Tactual-visual transfer in six-month-old infants. *Infant Behavior and Development*, 1, 259-264.
- Sabbah, P., Simond, G., Levrier, O., Habib, M., Trabaud, V., Muayaama, N., Mazoyer, B., Briand, J.F, Raybaud, C. et Salomon, G. (1995). Functional magnetic resonance imaging at 1.5 T during sensorimotor and cognitive task. *Eur Neurol*, 35, 131-136.
- Sacy, S. (1960). Bien lire et aimer lire. In : Méthode phonétique et gestuelle, Borel-Maisonny, S. ESF, 28^{ème} édition, 1999.

- Saito, D.N., Okada, T., Morita, Y., Yonekura, Y., & Sadato, N. (2003). Tactile-visual cross-modal shape matching : a functional MRI study. *Cognitive Brain Research*, 17, 14-25.
- Sann, C., & Streri, A. (2007). Perception of object shape and texture in human newborns: evidence from cross-modal transfer tasks. *Developmental Science*, 10(3), 339-410.
- Sathian, K., Zangaladze, A., Hoffman, J., & Grafton, S. (1997). Feeling with the mind's eye. *Neuroreport*, 8, 3877-3881.
- Shaw, C., Kentridge, R.W., & Aggleton, J.P. (1990). Cross-modal matching by amnesic subjects. *Neuropsychologia*, 28 (7), 665-671.
- Shaywitz, B. A., Shaywitz, S. E., Pugh, K. R., Mencl, W. E., Fulbright, R. K., Skudlarski, P., et al. (2002). Disruption of posterior brain systems for reading in children with developmental dyslexia. *Biol Psychiatry*, 52(2), 101-110.
- Snowling, M. J. (2000). *Dyslexia* (2nd ed.). Oxford: Blackwell.
- Sowell, E.R., Thompson, P.M., & Toga, A.W. (2004). Mapping changes in the human cortex throughout the span of life. *Neuroscientist*, 10, 372-392.
- Spafford, C.S., (1989). Wechsler Digit Span subtest : Diagnostic usefulness with dyslexic children. *Perceptual and motor Skills*, 69, 115-125.
- Sprenger-Charolles, L., Casalis, S. (1995). Reading and spelling acquisition in French first graders : longitudinal evidence. *Reading and Writing : An Interdisciplinary Journal*, 7, 1-25.
- Sprenger-Charolles, L., Colé, P., Lacert, P., & Serniclaes, W. (2000). On subtypes of developmental dyslexia : evidence from processing time and accuracy scores. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 54, 88-104.
- Sprenger-Charolles, L., & Colé, P. (2003). *Lecture et dyslexie*. Paris: Dunod.
- Stanovich, K.E., Siegel, L.S., Gottardo, A. (1997). Converging evidence for phonological and surface subtypes of reading disability. *Journal of Experimental Child Psychology*, 89, 114-127.
- Stein, B. E., Meredith, M. A., & Wallace, M. T. (1994). Development and neural basis of multisensory integration. In D. J. Lewkowicz & R. Lickliter (Eds.), *The development of intersensory perception. Comparative perspectives*. (pp. 81-106). Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- Stein, J., Walsh, V. (1997). To see but not to read ; the magnocellular theory of dyslexia. *Trends in Neuroscience*, 20, 147-152.

- Stein, J., Talcott, J. (1999). Impaired neuronal timing in developmental dyslexia : The magnocellular hypothesis. *Dyslexia*, 5, 59-77.
- Stein, J. (2001). The magnocellular theory of developmental dyslexia. *Dyslexia*, 7, 12-36.
- Stein, J. (2003). Visual motion sensitivity and reading. *Neuropsychologia*, 41, 1785-1793.
- Stephenson, S. (1907). Six cases of congenital word-blindness affecting three generations of one family. *Ophtalmoscope*, 5 : 482-84.
- Stilwell, J.M., & Cermak, S.A. (1995). Perceptual functions of the hand. In A. Henderson & C. Pehoski (ed.) *Hand Function in the Child* (pp.55-92). St Louis, Missouri: Mosby.
- Stoesz, M.R., Zhang, M., Weisser, V.D., Prather, S.C., Mao, H., & Sathian, K. (2003). Neural networks active during tactile form perception : common and differential activity during macrospatial and microspatial tasks. *International Journal of Psychophysiology*, 50, 41-49.
- Stoltz-Loike, M., & Bornstein, M. H. (1987). The role of imagery, language and metamemory in cross-modal transfer in children. *Psychological Research*, 49, 63-68.
- Streri, A. (1987). Tactile discrimination of shape and intermodal transfer in 2- to 3-month-old infants. *British Journal of Developmental Psychology*, 5, 213-220.
- Streri, A., & Milhet, S. (1988). Equivalences intermodales de la forme des objets entre la vision et le toucher chez les bébés de 2 mois. *L'Année Psychologique*, 88, 329-341.
- Streri, A. (1991). Voir, atteindre, toucher. Les relations entre la vision et le toucher chez le bébé. Paris: Presses Universitaires de France.
- Streri, A., & Molina, M. (1993). Visual-tactual and tactual-visual transfer between objects and pictures in 2-month-old infants. *Perception*, 22, 1299-1318.
- Streri, A., & Molina, M. (1994). Constraints on intermodal transfer between touch and vision in infancy. In D. J. Lewkowicz & R. Lickliter (Eds.), *The development of intersensory perception. Comparative Perspectives* (pp. 285-308). NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Streri, A., Lhote, M., & Dutilleul, S. (2000). Haptic perception in the newborn. *Developmental Science*, 3, 319-327.
- Streri, A., & Gentaz, E. (2003). Cross-modal recognition of shape from hand to eyes in human newborns. *Somatosensory and Motor Research*, 20, 13-18.
- Streri, A., & Gentaz, E. (2004). Cross-modal recognition of shape from hand to eyes and handedness in human newborns. *Neuropsychologia*, 42, 1365-1369.
- Stromswold, K. (1998). Genetics of spoken language disorders. *Hum Biol* 70, 297-324.

- Stromswold, K. (2001). The heritability of language: A review and meta analysis of twin, adoption, and linkage studies. *Language*, 77(4), 647-723.
- Talcott, J., Hansen, P., Assoku, E.L., Stein, J. (2000). Visual motion sensitivity in dyslexia : evidence for temporal and energy integration deficits. *Neuropsychologia*, 38, 935-943.
- Tallal, P., Miller, S.L., Bedi, G. (1996). Language comprehension in language learning impaired children improved with acoustically modified speech. *Science*, 271, 5245, 81-84.
- Terepocki, M., Kruk, R.S., & Willows, D.M. (2002). The incidence and nature of letter orientation errors in reading disability. *Journal of Learning Disabilities*, 35, 214-233.
- Thesen, T., Vibell, J.F., Calvert, G.A., österbauer, R.A., (2004). Neuroimaging of multisensory processing in vision, audition, touch, and olfaction. *Cognitive Processing*, 5(2), 84-93.
- Tomblin, J.B. et Buckwalter, P.R. (1998). Heritability of poor language achievement among twins. *J Speech Lang Hear Res* 41, 188-99.
- Tourette, C. (2006). Evaluer les enfants avec déficiences ou troubles du développement. Dunod, Paris.
- Touzin, M. (1999). L'enfant hyperactive, les apprentissages et sa reéducation. *Glossa*, 67, 16-25.
- Touzin, M. (2004) La rééducation des troubles spécifiques d'acquisition du langage écrit. In : Approches thérapeutiques en Orthophonie. Ortho Edition.
- Van Hout, A. (1994). Troubles de dénomination. In : Van Hout, A., & Estienne, F. (éds.), Les Dyslexies: décrire, évaluer, expliquer, traiter, Paris, Masson.
- Varin, C. (2004). La rééducation de la conscience phonologique. L'état des connaissances. Langage écrit. Signes Editions, 102-105.
- Varin, C. (2004). Le travail de la voie d'assemblage. L'état des connaissances. Langage écrit. Signes Editions, 106-109.
- Vellutino, M., Steger, J.A., & Pruzek, R.M. (1973). Inter-vs intrasensory deficits in paired associate learning in poor and normal readers. *Canadian Journal of behavioural Science*, 5, 111-123.
- Vellutino, M., Steger, J.A., Harding, C.J., & Phillips, F. (1975). Verbal vs non-verbal paired-associate learning in poor and normal readers. *Neuropsychologia*, 13, 75-82.
- Vellutino, F.R. (1979). Dyslexia : Theory and research. MIT Press, Cambridge, M.A.

- Vellutino, F.R., Scanlon, D.M., & Spearing, D. (1995). Semantic and phonologic coding in poor and normal readers. *Journal of Experimental Psychology*, 59, 76-123.
- Virsu, V., Lahti-Nuuttila, P., & Laasonen, M. (2003). Crossmodal temporal processing acuity impairment aggravates with age in developmental dyslexia. *Neuroscience Letters*, 336, 151-154.
- Vogler, G.P., Defries, J.C., Decker, S.N. (1985). Family history as an indicator of risk for reading disability. *J Learn Disabil*, 18 : 176-185.
- Wagemans, J. (1995). Detection of visual symmetries. *Spatial Vision*, 9, 9-32.
- Walk, R. D. (1965). Tactual and visual learning of forms differing in degrees of symmetry. *Psychonomic Science*, 2, 93-94.
- Wallace, M.T., Meredith, M.A., & Stein, B.E. (1992). Integration of multiple sensory inputs in cat cortex. *Experimental Brain Research*, 91, 484-488.
- Wechsler, D. (1996). Echelle d'intelligence de Wechsler pour enfants. Troisième édition, Editions du Centre de Psychologie Appliquée, Paris.
- Windfuhr, K.L., & Snowling, M.J. (2001). The relationship between paired associate learning and phonological skills in normally developing readers. *Journal of Experimental Child Psychology*, 80, 160-173.
- Witelson, S.F. (1974). Hemispheric specialisation for linguistic and nonlinguistic tactual perception using a dichotomous stimulation technique. *Cortex*, 10, 3-17.
- Wohwill, J.F. (1975). Children's voluntary exploration and preference for tactually presented nonsense shapes differing in complexity. *Journal of experimental child Psychology*, 20, 159-167.
- Wolf, M., Bowers, P., & Biddle, K. (2000). Naming-speed processes, timing and reading : a conceptual review. *Journal of Learning Disabilities*, 33, 387-407.
- Wolf, M., Goldberg O'Rourke, A., Gidney, C., Lovett, M., Cirino, P., & Morris, R. (2002). The second deficit : an investigation of the independence of phonological and naming-speed deficits in developmental dyslexia. *Reading and Writing : An Interdisciplinary Journal*, 15, 43-72.
- Wolff, P.H. et Melngailis, I. (1994). Family patterns of developmental dyslexia : Clinical findings. *American journal of Medical Genetics*, 54 : 122-131.
- Zaporozhets, A. V. (1965). The development of perception in the preschool child. *Monographs of the Society for Research on Child Development*, 30, 82-102.
- Zinchenko, V. & Lomov, B. (1960). The functions of hand and eye movements in the process of perception. *Voprosy Psichologii*, 1, 12-26.

ANNEXES

ANNEXE A

Description des subtests du WISC-III

L'Echelle Verbale :

Informations : on évalue par des questions orales la connaissance de faits, d'objets, de personnes ou de lieux. Par l'investigation de ces connaissances scolaires et sociales (intelligence cristallisée), on accède à la mémoire à long terme (sémantique) et à l'organisation temporelle (jours, mois...). Ce subtest est sensible aux acquisitions scolaires et socio-culturelles.

Similitudes : on présente à l'enfant des paires de mots, il doit trouver la similitude entre les objets ou les concepts proposés. Ce subtest de pensée catégorielle est le plus corrélé avec le QI total. Il est considéré comme un bon indicateur des capacités logiques et des capacités d'abstraction.

Arithmétique : l'enfant doit répondre à des petits problèmes de calcul mental. Cette épreuve fait appel au concept du nombre, aux opérations, aux problèmes et à la représentation symbolique. Ce subtest est sensible aux difficultés attentionnelles et à la mémoire de travail.

Vocabulaire : l'enfant doit définir oralement les mots qui lui sont présentés. L'épreuve de vocabulaire a souvent été utilisée comme mesure indirecte de l'intelligence en ce qu'il rend compte des capacités d'apprentissage, des capacités d'analyse (donner l'essentiel du mot de façon claire et brève). C'est un subtest sensible aux apprentissages scolaires et socio-culturels.

Compréhension : on explore la compréhension (basée sur l'expérience) que l'enfant a des règles de vie sociale ou des concepts relatifs à la vie sociale. Ce subtest permet d'apprécier le sens pratique et l'adaptabilité de l'enfant, l'intégration des normes sociales, mais aussi ses capacités argumentatives quand on lui demande de justifier ses réponses.

Mémoire des chiffres : il s'agit pour l'enfant de répéter des chiffres en nombre croissant (de 2 à 7). Cette répétition est effectuée sous deux conditions. Pour la première, « oral-oral », l'enfant doit répéter en écholalie la série de chiffres. Puis, pour la seconde, l'enfant doit répéter la série en ordre inverse. Cette épreuve implique donc la mémoire à court terme (empan endroit), la mémoire de travail (empan envers) et l'attention.

L'échelle de Performance :

Complètement d'images : l'enfant doit identifier la partie ou le détail manquant dans un dessin. Ce subtest implique une bonne exploration et analyse visuelle, ainsi qu'une attention particulière pour distinguer l'essentiel de l'accessoire.

Code : l'enfant doit faire correspondre des symboles avec des formes géométriques (code A pour les enfants de 6 et 7 ans) ou avec des chiffres (code B pour les enfants de 8 à 16 ans). Cette tâche implique donc la mémorisation de l'association de deux symboles, de la concentration et de la rapidité. Cette épreuve peut montrer la capacité d'automatisation et d'apprentissage de l'enfant. Il est intéressant aussi d'observer la maîtrise du geste graphique et la qualité des saccades oculaires.

Arrangement d'images : l'enfant doit ordonner des images et reconstituer une histoire. Cette épreuve fait appel à la représentation temporelle d'un événement et à sa représentation spatiale pour la mise en ordre des images. Elle met en jeu aussi les relations de cause à effets et la verbalisation mentale des événements ordonnés (planification).

Cubes : l'enfant doit reproduire à l'aide de cubes bicolores un modèle géométrique présenté. Ce subtest dérivé des Cubes de Kohs est un bon indicateur des capacités intellectuelles d'analyse et de synthèse. Il permet d'éprouver les capacités de structuration et de représentation visuo-spatiale. Il demande également une habileté de coordination visuo-motrice pour la manipulation des cubes.

Assemblage d'objets, est composé de puzzles représentant des objets figuratifs familiers (fillette, voiture, cheval, ballon, visage). L'enfant doit reconstruire l'objet à partir des éléments séparés (intégration perceptive). Cette épreuve est sensible à la structuration spatiale et à la représentation du schéma corporel. Elle nécessite une bonne représentation mentale et la motricité nécessaire à la manipulation des éléments.

Symboles : on présente à l'enfant des planches comportant, soit un symbole isolé à côté d'une série de 3 (partie A pour les 6-7 ans), soit 2 symboles à côté d'une série de 5 (partie B pour les 8-16 ans). L'enfant doit signaler s'il retrouve le symbole isolé dans la série de symboles. Cette tâche nécessite une bonne discrimination perceptive et implique la mémoire de travail puisque les éléments parcourus doivent être sans cesse comparés au modèle présenté.

Labyrinthes : L'enfant doit trouver, le plus vite possible, la sortie du labyrinthe sans que son tracé ne dépasse et sans entrer dans les impasses. Cette tâche requiert des capacités perceptives et graphomotrices. Elle nécessite contrôle et planification du geste.

ANNEXE B

Le tableau 1 présente les moyennes des bonnes réponses des enfants par âge et par type de transfert pour les formes simples (figure 6) et les formes composites (figures 7).

	T-T 1	T-V 1	V-T 1	T-T 2	T-V 2	V-T 2
8 ans	5,67	5,78	6	5,56	4,56	4,89
7 ans	5,1	5,7	6	5,3	5,4	5,6
6 ans	5,26	5,63	5,84	4,53	4,58	4,74
5 ans	5,32	5,42	5,42	4,16	4,21	4,05
4 ans	4,67	4,78	4,83	3,56	3,83	3,33

ANNEXE C

Le tableau 2 présente les moyennes des temps de réponse des enfants par âge et par type de transfert pour les formes simples (figure 9) et les formes composites (figure 10).

	T-T 1	T-V 1	V-T 1	T-T 2	T-V 2	V-T 2
8 ans	1,89	1,18	1,5	2,95	2,44	2,92
7 ans	2,53	1,85	2,23	3,03	2,33	3,06
6 ans	2,76	2,55	3,36	4,58	4,53	5,38
5 ans	4,2	2,66	4,09	5,05	4,35	5,52
4 ans	3,3	2,86	3,27	4,33	4,43	5,2

ANNEXE D

Le tableau présente les moyennes et les écart-types des bonnes réponses par groupe et par type de transfert pour les formes simples (figure 11) et les formes composites (figure 12).

	T-T 1	T-V 1	V-T 1	T-T 2	T-V 2	V-T 2
Dyslexique	5,78	5,74	5,93	5,30	5,37	5,33
Dysphasique	5,38	5,88	6	5	5,25	4,63
Dyspraxique	5,44	5,67	5,56	4,22	4,67	4,67
Témoins	5,50	5,64	5,96	5,42	5,14	5,21

ANNEXE E

Le tableau 2 présente les moyennes et les écart-types des temps de réponse par groupe et par type de transfert pour les formes simples (figure 14) et les formes composites (figure 15).

	T-T 1	T-V 1	V-T 1	T-T 2	T-V 2	V-T 2
Dyslexique	2,90	1,68	2,68	4,17	2,89	4,46
Dysphasique	3,93	2,38	4,97	6,41	3	7,26
Dyspraxique	2,87	3,40	4,88	6,83	5,75	4,99
Témoins	2,87	1,63	1,90	3	2,33	3,10

Résumé : Cette thèse a pour objectif d'évaluer si le transfert des informations sur la forme entre le toucher et la vision se fait adéquatement chez des enfants présentant des troubles du langage oral (dysphasiques) ou écrit (dyslexiques) ou des troubles praxiques (dyspraxiques). Dans une première étude, nous avons effectué une évaluation neuropsychologique afin de préciser à quel niveau de traitement des informations se situent les éventuelles difficultés. Cette étude montre des troubles de mémoire de travail auditivo-verbale dans les trois pathologies. Plus spécifiquement, des troubles de traitement séquentiel chez les enfants dyslexiques, des troubles du langage oral expressif, et des troubles visuo-constructifs chez les enfants dysphasiques, et des troubles praxiques gestuelles, visuo-perceptifs, visuo-constructifs, ainsi qu'une faible mémoire spatiale chez les enfants dyspraxiques. Dans une deuxième étude, nous avons évalué un groupe d'enfant tout-venant âgé de 4 à 8 ans. Les résultats montrent une évolution des capacités de transfert intramodal T-T et intermodal T-V et V-T de 4 à 8 ans avec des performances presque parfaites dès 5 ans pour des formes géométriques simples et des performances évoluant nettement vers 6-7 ans pour des formes composites orientées. La dernière étude évalue les capacités de transfert dans les troubles des apprentissages. Elle montre des capacités d'intégration sensorielle entre le toucher et la vision efficiente mais limitée et ralentit par les troubles cognitifs de chaque pathologie.

Title : Study of capacities to integrate sensory Toucher-Vision in children with learning disorders.

Abstract : The thesis aims to assess whether the transfer of information on the form between touch and vision are properly among children with oral language (dysphasia) or written (dyslexia) or unrest praxia (dyspraxia). In the first study, we conducted a neuropsychological evaluation in order to clarify what level of information processing are possible difficulties. This study shows auditivo-verbal working memory disorder within the three pathologies. More specifically, sequential processing disorders in children with dyslexia, oral language disorders expressive, and unrest visuo-constructifs among dysphasia children, and unrest motor, visuo-perception, visuo-construct and a low spatial memory among dyspraxia children. In a second study, we evaluated a group of child aged 4 to 8 years. The results show an evolving capacities of intramodal T-T and crossmodal T-V and V-T of 4 to 8 years with performances almost perfect dice 5 years for simple geometric shapes and performance clearly moving towards 6-7 years for forms oriented. The latest study assesses the capacity for transfer into learning disorders. It showed sensory integration capabilities between touch and vision and efficiency but limited by the slowing cognitive disorders each pathology.

Discipline : Psychologie Cognitive et Développementale.

Mots clé : Enfants ; transfert intermodal toucher-vision ; troubles des apprentissages ; perception haptique ; neuropsychologie.

Children ; crossmodal vision-touch ; learning disorders ; haptic perception ; neuropsychologia.

Laboratoire : Laboratoire « Psychologie de la Perception » - FRE 2929 – CNRS
45, rue des Saint-Pères 75270 Paris Cedex 06, France.